



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE
BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y
ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO
CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE**

AUTORES: MOYANO PÉREZ, AZAEL GUALBERTO

PANTOJA VILLACIS, DANIEL ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE”** fue realizado por los señores **Moyano Pérez, Azael Gualberto** y **Pantoja Villacis, Daniel Alejandro** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 11 de julio del 2019

Firma:

Ing. Washington Germán Erazo Laverde
C. C.: 050143263-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Moyano Pérez, Azael Gualberto** y **Pantoja Villacis, Daniel Alejandro**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 11 de julio del 2019

Moyano Pérez, Azael Gualberto

C.C.: 0503908295

Pantoja Villacis, Daniel Alejandro

C.C.: 1750803403



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Moyano Pérez, Azael Gualberto** y **Pantoja Villacis, Daniel Alejandro** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 11 de julio del 2019

Moyano Pérez, Azael Gualberto

C.C.: 0503908295

Pantoja Villacis, Daniel Alejandro

C.C.: 1750803403

DEDICATORIA

A todas las personas que forman parte especial en mi vida.

Moyano Pérez, Azael Gualberto

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación a mis padres Guido Pantoja y Carolina Villacis, por ser el apoyo incondicional a lo largo de este difícil camino lleno de aciertos y desaciertos, a mis hermanos por su apoyo, a mi novia por ser un complemento y apoyo incondicional en esta etapa de estudios.

A todos mis docentes en general por instruirme en conocimientos científicos y experiencias profesionales y personales.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por formarme como un profesional.

Pantoja Villacis, Daniel Alejandro

AGRADECIMIENTO

A mi familia y amigos por saber compartir momentos en cada proceso de la etapa en la universidad.

Moyano Pérez, Azael Gualberto

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios ya que todo lo que soy, todo lo que tengo, es por Dios y gracias a Dios, a mis padres Guido y Carolina por formarme con principios y valores, que durante toda mi etapa estudiantil fueron pilares fundamentales para alcanzar una formación profesional, por su esfuerzo y sacrificio para dotarme de todo lo necesario, para hoy alcanzar esta meta, a mis hermanos que a pesar de sus limitaciones estuvieron siempre presentes en esta etapa, a mi novia por darme palabras de aliento cuando sentía desfallecer y su apoyo incondicional , a mi gran amigo Azael por brindarme su amistad sincera durante toda la carrera y ser un buen amigo, por compartir tantas vivencias y experiencias que quedaran marcadas para el resto de la vida.

Pantoja Villacis, Daniel Alejandro

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1	Generalidades	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Descripción resumida del proyecto.....	4

1.4	Justificación e importancia.....	5
1.5	Objetivos	7
1.5.1	Objetivo general.	7
1.5.2	Objetivos específicos.....	8
1.6	Metas.	8
1.7	Hipótesis.	9
1.8	Variables de la investigación.	9
1.8.1	Variable independiente.	9
1.8.2	Variables dependientes.	10
1.9	Metodología de desarrollo del proyecto	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2	Sistema de almacenamiento de energía	14
2.1	Híbridos en serie	14
2.2	Plug-in Hybrid Electric Vehicle.....	15
2.3	Paquete de baterías	17
2.4	Proceso de carga	18
2.5	Sistemas de cargador.....	19
2.6	Importancia de la batería de alta tensión	20

2.7	SOC	20
2.8	Determinación del estado de carga SOC de la batería	20
2.9	DSOC.....	21
2.10	Estado de descarga DSOC en función del tiempo.	21
2.11	EV powertrain.....	22
2.12	Vehículo eléctrico	22
2.13	Batería de alta tensión.....	23
2.14	Parámetros característicos en baterías	24
2.15	Tipos de baterías de alta tensión.....	27
2.16	Batería HV del Prius 2001-2004 segunda generación	28
2.17	Batería HV del Prius 2004-2009 tercera generación.....	28
2.18	Batería HV del Toyota Prius 2010 o cuarta generación	29
2.19	Batería HV del Toyota Prius C.....	30
2.20	Batería HV del Toyota Highlander.	31
2.21	Batería HV del Ford Escape	32
2.22	LabView	33
2.23	Arduino.....	34

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL EQUIPO DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO.

3	Levantamiento de requerimientos.....	35
3.1	Datos de partida	35
3.2	Cálculos de voltaje, corriente y potencia disipada	36
3.3	Circuito de carga Individual	36
3.3.1	Voltaje de carga máximo	37
3.3.2	Corriente de carga máximo	37
3.3.3	Potencia máxima disipada.....	40
3.4	Circuito de carga General.....	42
3.5	Resumen de requerimientos del circuito de carga	45
3.6	Selección de componentes electrónicos para el circuito de carga	45
3.6.1	Fuente de corriente controlada por voltaje.....	46
3.6.2	Fuente AC/DC	47
3.7	Circuito de descarga.....	47
3.8	Resumen de requerimientos del circuito de descarga	52
3.9	Selección de resistencias para el circuito de descarga.....	53
3.10	Circuito de descarga General	54

3.11	Circuito de Ecuación	55
3.12	Circuito de control	56
3.12.1	Control de conexión entre circuitos	56
3.12.2	Mediciones	59
3.12.3	Control de fuentes de corriente	62
3.12.4	Placa Arduino y BUS SPI	65
3.13	Diseño de placas electrónicas	67
3.13.1	Placa de control general	67
3.13.2	Placa de control de módulos Relé	67
3.13.3	Placa de control de fuentes de corriente	68
3.14	Programación en Labview	69

CAPÍTULO IV

PROTOCOLO DE PRUEBAS

4	Protocolo de pruebas	71
4.1	Algoritmo de carga	71
4.1.1	Algoritmo de 3 etapas	71
4.2	Proceso de mantenimiento	72
4.3	Mantenimiento en 3 ciclos (primer ensayo)	74

4.3.1	Primer ciclo	75
4.3.2	Segundo ciclo.....	78
4.3.3	Tercer ciclo.....	81
4.4	Mantenimiento en 3 ciclos (segundo ensayo)	84
4.4.1	Primer ciclo.....	84
4.4.2	Segundo ciclo.....	87
4.4.3	Tercer ciclo.....	89
4.5	Mantenimiento en 3 ciclos (tercer ensayo)	92
4.5.1	Primer ciclo.....	92
4.5.2	Segundo ciclo.....	95
4.5.3	Tercer ciclo.....	97
4.6	Análisis de resultados.....	100
4.7	Comparativa.....	102

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5	Recursos	105
5.1	Recursos humanos.....	105
5.2	Recursos materiales.....	105
5.3	Recursos tecnológicos	107

5.4 Costo neto del proyecto.....108

CONCLUSIONES: 109

RECOMENDACIONES: 110

BIBLIOGRAFÍA: 112

ANEXOS..... 116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente.	9
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente.	10
Tabla 3 Metodología, instrumentación y laboratorios a utilizar.	13
Tabla 4 Tipos de baterías de alta tensión.	27
Tabla 5 Selección de baterías para diseño del banco.	35
Tabla 6. Requerimientos potencia máxima disipada.	40
Tabla 7. Requerimientos del circuito de carga.	45
Tabla 8. Resumen requerimientos circuito descarga.....	53
Tabla 9. Requerimientos del microcontrolador.	65
Tabla 10. Parámetros de carga primer ensayo.	75
Tabla 11. Parámetros de carga segundo ensayo.	84
Tabla 12. Parámetros de carga tercer ensayo.	92
Tabla 13 Resumen de valores primer ensayo.	100
Tabla 14. Resumen de valores segundo ensayo.	101
Tabla 15. Resumen de valores tercer ensayo.	102
Tabla 16. Comparativo parámetros tres ensayos.	102
Tabla 17. Recursos humanos	105
Tabla 18. Recursos materiales	106
Tabla 19. Recursos Tecnológicos.....	107
Tabla 20. Costo neto del proyecto.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.	3
Figura 2. Arquitectura de HEV	15
Figura 3. Arquitectura de los vehículos híbridos eléctricos e híbridos plug-in.....	16
Figura 4. Energía del sistema de la batería para los vehículos eléctricos híbridos ..	16
Figura 5. Paquete de batería de litio-ion Manganeseo	17
Figura 6. Pack de baterías.....	18
Figura 7. Tipos de carga a corriente constante y variable.....	19
Figura 8. Cargador típico de batería	19
Figura 9. Diagrama esquemático del grupo moto propulsor BEV	22
Figura 10. Batería HV del Prius 2001-2004 segunda generación.	28
Figura 11. Batería HV del Toyota Prius 2004-2009 tercera generación.	29
Figura 12. Batería TOYOTA PRIUS 2010.....	30
Figura 13. Batería Toyota Prius C.	31
Figura 14. Batería HV del Toyota Highlander	32
Figura 15. Batería Ford Escape.....	32
Figura 16. LabView.....	33
Figura 17. Elementos electrónicos necesarios para la carga	36
Figura 18. Circuito de carga General	42
Figura 19. Fuentes de corriente constante controlada por voltaje.....	46
Figura 20. Fuentes de computador de 700 Watts conectadas en paralelo.....	47

Figura 21. Circuito de descarga individual	47
Figura 22. Circuito real de descarga de una batería y punto de toma de datos	48
Figura 23. Resistencia de 10 Ohm a 20 Watts.....	54
Figura 24. Circuito general de descarga	54
Figura 25. Circuito de Ecuación.	55
Figura 26. Barras de cobre utilizados para conexión en paralelo de las baterías.....	56
Figura 27. Conexión entre circuitos de carga, descarga y ecuación.	57
Figura 28. Registro de desplazamiento 74HC595.	58
Figura 29. Multiplexor analógico 16 a 1 74HC4067.	59
Figura 30. Lógica de activación del modulo 74HC4067.	60
Figura 31. Divisor de tensión utilizado para la toma de datos de voltaje.	61
Figura 32. Módulos de corriente sin modificar (Derecha) modificado (Izquierda).	62
Figura 33. Potenciometro digital 2 en 1 MCP42010.....	63
Figura 34. Curva de respuesta de los potenciómetros digitales	64
Figura 35. Arduino Nano	66
Figura 36. PinOUT de Arduino Nano	66
Figura 37. PCB de la placa de control general.....	67
Figura 38. PCB de la placa de control de los módulos relé.....	68
Figura 39. PCB de la placa de control de las fuentes de corriente.....	68
Figura 40. Página principal de la interfaz de usuario diseñada en Labview.	69
Figura 41. Página "Procesos generales" de la interfaz de usuario.....	70
Figura 42. Página " Procesos Individuales" de la interfaz de usuario.....	70

Figura 43. Características de la batería.	72
Figura 44. Características de la batería.....	73
Figura 45. Procesos del Cargador.....	73
Figura 46. Voltímetro.....	74
Figura 47. Graficas voltaje, corriente y resistencia.	74
Figura 48. Voltaje primera carga, primer ensayo.	75
Figura 49. Corriente primera carga, primer ensayo.....	76
Figura 50. Voltaje primera descarga, primer ensayo.....	77
Figura 51. Corriente primera descarga, primer ensayo.....	77
Figura 52. Voltaje segunda carga, primer ensayo.....	78
Figura 53. Corriente segunda caga, primer ensayo.	79
Figura 54. Voltaje segunda descarga, primer ensayo.....	80
Figura 55. Corriente segunda descarga, primer ensayo.	80
Figura 56. Voltaje tercera carga, primer ensayo.	81
Figura 57. Corriente tercera carga, primer ensayo.	82
Figura 58. Voltaje tercera descarga, primer ensayo.....	83
Figura 59. Corriente tercera descarga, primer ensayo.....	83
Figura 60. Voltaje primera carga, segundo ensayo.....	84
Figura 61. Corriente primera carga, segundo ensayo.	85
Figura 62. Voltaje primera descarga, segundo ensayo.	86
Figura 63. Corriente primera descarga, segundo ensayo.	86
Figura 64. Voltaje segunda carga, segundo ensayo.	87

Figura 65. Corriente segunda carga, segundo ensayo.	88
Figura 66. Voltaje segunda descarga, segundo ensayo.	88
Figura 67. Corriente segunda descarga, segundo ensayo.	89
Figura 68. Voltaje tercera carga, segundo ensayo.	90
Figura 69. Corriente tercera carga, segundo ensayo.	90
Figura 70. Voltaje tercera descarga, segundo ensayo.	91
Figura 71. Corriente tercera descarga, segundo ensayo.	92
Figura 72. Voltaje primera carga, tercer ensayo.	93
Figura 73. Corriente primera carga, tercer ensayo.	93
Figura 74. Voltaje primera descarga, tercer ensayo.	94
Figura 75. Corriente primera descarga, tercer ensayo.	94
Figura 76. Voltaje segunda carga, tercer ensayo.	95
Figura 77. Corriente segunda carga, tercer ensayo.	96
Figura 78. Voltaje segunda descarga, tercer ensayo.	96
Figura 79. Corriente segunda descarga, tercer ensayo.	97
Figura 80. Voltaje tercera carga, tercer ensayo.	98
Figura 81. Corriente tercera carga, tercer ensayo.	98
Figura 82. Voltaje tercera descarga, tercer ensayo.	99
Figura 83. Corriente tercera descarga, tercer ensayo.	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: ecuación de estado de carga SOC.	20
Ecuación 2: Ecuación de estado de descarga DSOC	21
Ecuación 3. Voltaje de carga.....	37
Ecuación 4. Capacidad nominal	38
Ecuación 5. Calculo de Potencia.....	40
Ecuación 6. Potencia total.....	43
Ecuación 7. Potencia real.....	44
Ecuación 8. Voltaje de batería.	49
Ecuación 9. Ecuación general de la recta.	65

RESUMEN

Uno de los principales causantes de la contaminación ambiental en los últimos años es la industria automotriz, razón por la cual se ha optado por la utilización de energías y al uso de fuentes de energía renovables, de donde surgen los vehículos híbridos y eléctricos que, además de necesitar un mantenimiento mecánico, necesitan de un mantenimiento específico de las baterías de alta tensión. Actualmente el diagnóstico se lo realiza, evaluándolas en base a su estado de carga, reutilizándolas, descartándolas o a su vez, superado el tiempo de vida útil proporcionado por el concesionario, se opta por el cambio total de la misma, provocando así el desaprovechamiento de packs que la conforman, los cuales, una vez realizados un mantenimiento apropiado, pueden seguir cumpliendo con su función de una manera eficiente. Dadas las circunstancias, se realizó un sistema de mantenimiento controlado por computador basado en parámetros de desempeño de packs individuales de una batería de alta tensión, que es oportuno para poder brindar un diagnóstico eficiente de cada pack, con el fin de evitar su desecho innecesario, además de brindar modelos de mantenimiento para establecer la durabilidad de las mismas en función de sus parámetros.

PALABRAS CLAVE

- **VEHÍCULOS HÍBRIDOS**
- **BATERÍAS - MANTENIMIENTO**
- **VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

ABSTRACT

One of the main causes of environmental pollution in recent years is the automotive industry, which is why it has opted for the use of energy and the use of renewable energy sources, from which arise hybrid and electric vehicles. Hybrid and electric vehicles, in addition to needing mechanical maintenance, require specific maintenance on high voltage batteries. Currently the diagnosis is done, evaluating them based on their load status, reusing them, discarding them or in turn, after the useful life time provided by the dealer, they opt for the total change of the same, causing the waste of packs that conform it, which, once carried out an appropriate maintenance, can continue fulfilling its function in an efficient way. Given the circumstances, a computer-controlled maintenance system based on the performance parameters of individual packs of a high-voltage battery was carried out, which is timely in order to provide an efficient diagnosis of each pack, in order to avoid unnecessary waste, in addition to providing maintenance models to establish the durability of them based on parameters such as: health status and discharge time.

KEYWORDS

- **HYBRID VEHICLE**
- **BATTERY - MAINTENANCE**
- **ELECTRIC VEHICLE**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

El manejo de las baterías recargables se ha convertido en un desafío para la industria automotriz, las autoridades ambientales y las empresas de aseo. Hoy no existe claridad sobre el posible reciclaje o disposición final de estos productos, no obstante, hay estrategias de manejo de residuos que deben ser protocolizadas para reducir sus impactos en el ambiente. (kreuzer & Wilmsmeir, 2014, pág. 232)

La comercialización de vehículos híbridos comenzó en Ecuador en 2009. Desde esa fecha hasta el año pasado se han colocado 12.989 unidades de unas 14 marcas automotrices. El pico de ventas durante estos años se alcanzó en el 2010, cuando el mercado demandó 4.509 unidades, que en su mayoría fueron colocadas por Toyota, Ford, Chevrolet y Lexus. La exoneración de impuestos que tuvieron estos vehículos, caracterizados por tener dos motores (eléctrico y de gasolina), disparó las ventas. Sin embargo, el cambio de reglas para la importación de autos con esta tecnología fue modificando el crecimiento de este mercado. (Universo, 2017)

El Ministerio Coordinador de la Producción realizó un acuerdo con 3 empresas de autos: KIA, Nissan-Renault y BYD para la importación. Se estima que los vehículos eléctricos llegarán a Ecuador a mediados de este año y los oferentes calculan que

costarán entre \$ 14 mil y \$ 40 mil. En el país aún se conoce poco sobre este tipo de tecnología y cuáles serían las ventajas de estos autos en comparación a los que funcionan con gasolina o diésel. Actualmente circulan en el país los vehículos híbridos, es decir, que utilizan combustible y energía eléctrica. De acuerdo a varios usuarios consultados por diario EL TELÉGRAFO, ese mecanismo de abastecimiento mixto es conveniente porque gastan la mitad del dinero que antes invertían en un carro común. (Telegrafo, 2015)

Alrededor del 2012, el rendimiento de la batería de un vehículo híbrido concluía cuando llegaba a los 240 mil o en su caso hasta los 480 mil kilómetros, que corresponde aproximadamente a 10 años de uso, el sistema lanzaba un indicador para advertir que la vida útil de la batería híbrida estaba finalizando y entonces el vehículo entraba en modalidad de “avería”. Era entonces cuando los propietarios debían decidir si querían reemplazar la batería híbrida o bien cambiar su vehículo por uno nuevo, sin embargo, había quienes optaban por otra opción, que consistía en hacer el reemplazo de la batería híbrida nueva, para posteriormente vender el vehículo, y adquirir otro Prius pero de más reciente generación. (Toyoimport, 2015)

Dado que una batería normalmente mantiene su voltaje aun cuando el nivel de carga es muy bajo, resulta un tanto complejo calcular su estado de carga observando solamente este parámetro. Justamente calcular con exactitud el estado de carga -SOC- motiva la medición de voltaje y corriente, de tal forma que mediante un software la ECU a cargo pueda determinar con la mayor exactitud posible cual es en cualquier momento el estado de carga de una batería. Se comprenderá que calcular el estado de carga en

forma correcta es prioritario para el correcto funcionamiento de los vehículos híbridos y eléctricos. (Augeri F. , Cise Electronics, 2011)

En esta carrera por la evolución y la eficiencia, hay muchas preguntas que aún permanecen abiertas, una de ellas es lo que sucede al final del ciclo de vida de una batería y un motor eléctrico. A medida que aumente el número de automóviles eléctricos vendidos, también aumentará la cantidad de motores eléctricos y el desperdicio de la batería, lo que generará un mayor impacto en el medio ambiente. (Racz, Mountean, & Dan Stan, 2015, pág. 21)

1.2 Planteamiento del problema.

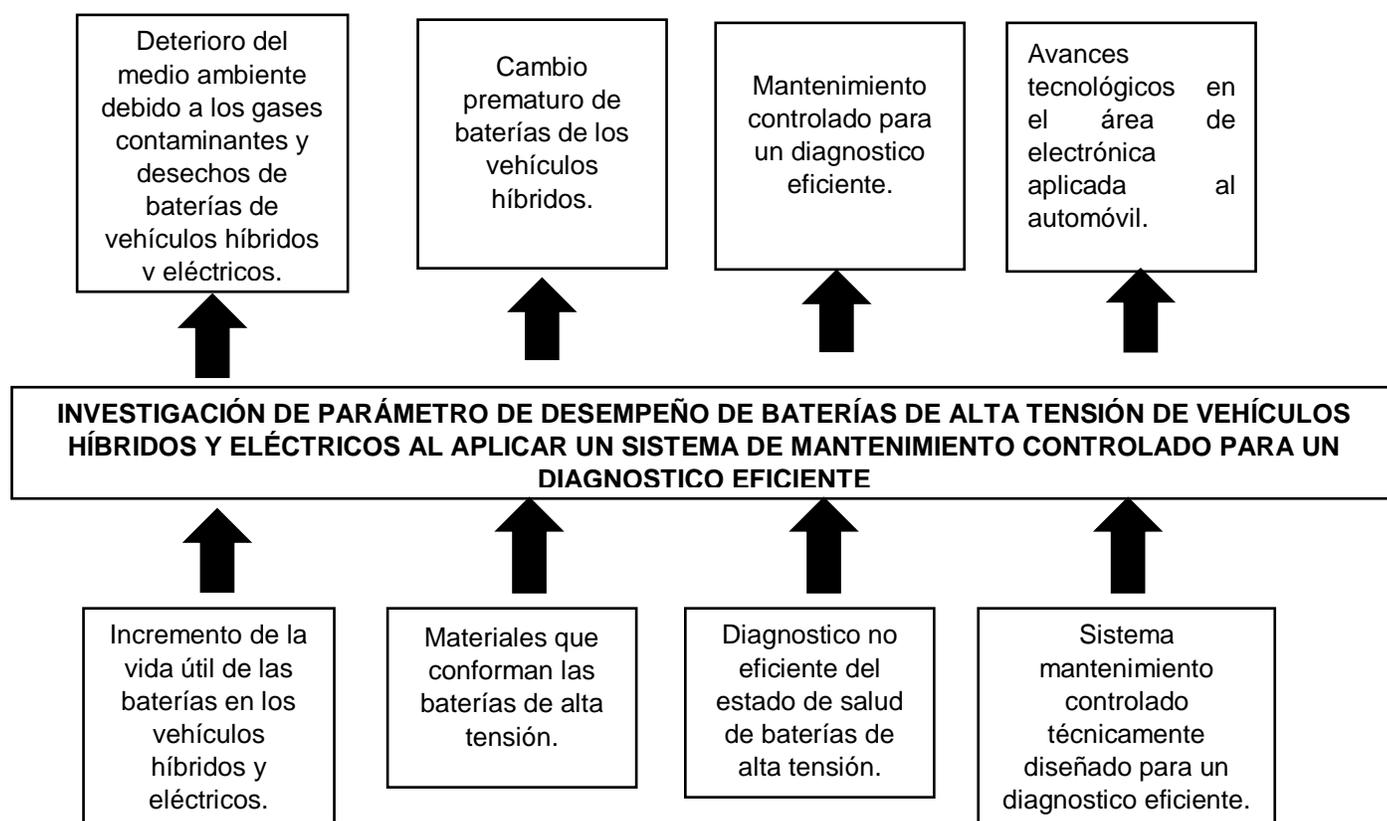


Figura 1. Árbol de problemas.

Las baterías son un componente esencial y poco atendido dentro del tema de los vehículos híbridos y eléctricos ya que, en la escasez de sistemas de diagnóstico o mantenimiento apropiados para las mismas, han generado que las baterías sean uno de los principales componentes en sufrir daños que afecten a su correcto funcionamiento, Existen determinados parámetros que influyen en el funcionamiento de las mismas como son: la temperatura, estado de carga, estado de descarga entre otros que afectan directamente en el estado de salud en la que se encuentren.

Las marcas comercializadoras de vehículos híbridos y eléctricos no implementan en su plan de mantenimiento el diagnóstico a la batería de alta tensión del vehículo y cuando la batería pierde, entre otros parámetros, su capacidad de almacenar energía, optan por un cambio total de la misma.

Un mantenimiento oportuno a las baterías de alta tensión puede lograr extender su vida útil que mediante procesos de carga y descarga controlado éstas logran recuperar su estado de salud que, junto con la obtención de datos y los parámetros de desempeño se puede lograr obtener un diagnóstico eficiente de las mismas logrando así establecer la durabilidad de las mismas.

1.3 Descripción resumida del proyecto.

Se realizó una investigación en fuentes bibliográficas confiables tales como artículos científicos, publicaciones de sitios web y proyectos de titulación, con lo que se determinó los parámetros para sistemas de mantenimiento controlado de baterías de alta tensión de vehículos híbridos.

Se determinó parámetros de funcionamiento de baterías de alta tensión de las principales marcas del Ecuador en vehículos híbridos y eléctricos.

Se obtuvo parámetros de funcionamiento de las baterías de alta tensión, así como sus parámetros característicos tales como Sistemas de carga / descarga, estado de salud, estado de carga entre otros.

Se seleccionó los componentes eléctricos y electrónicos para la construcción del equipo de diagnóstico y monitoreo de baterías de alta tensión.

Se construyó un equipo de diagnóstico para el monitoreo, se tomó medidas y datos de baterías de alta tensión de vehículos híbridos.

Se realizó pruebas de funcionamiento del equipo, mediante un uso práctico sobre baterías de alta tensión, además, se recopiló datos de dichas baterías.

Se analizó los datos obtenidos de mediciones realizadas con el equipo de diagnóstico y se estableció un modelo de mantenimiento para mejorar el estado de salud de las baterías.

1.4 Justificación e importancia.

Uno de los principales causantes de la contaminación ambiental en los últimos años es la industria automotriz, por el uso de combustibles fósiles, que al quemarse emanan gases de efecto invernadero al ambiente, provocando la contaminación atmosférica, lo que produce una disminución en la calidad de aire que respiran sus habitantes además de aumentar la opacidad del mismo.

Ante la contaminación producida por el parque automotor y con el avance tecnológico, la industria automotriz ha recurrido al aprovechamiento de energías y al

uso de fuentes de energía renovable y más eficientes, desembocando en el desarrollo de vehículos que utilicen la energía eléctrica como fuente de energía parcial o total para su funcionamiento, de donde nacen los vehículos híbridos, eléctricos y enchufables, que con el pasar del tiempo van marcando tendencia en sostenibilidad ambiental y económica.

El combustible en el Ecuador es considerado como uno de los más contaminantes de América Latina, en el caso de la gasolina, debido a su bajo octanaje y contenido de impurezas y en el caso del diésel a su alto contenido de azufre.

Los combustibles de baja calidad producen una combustión poco eficiente en los motores, provocando un consumo excesivo del mismo, incrementando el gasto en combustible para el usuario, que a su vez incrementa el gasto del estado ya que actualmente parte del precio de venta de estos combustibles es subsidiado por el estado ecuatoriano.

La evolución tecnológica automotriz en vehículos híbridos y eléctricos a nivel mundial, la concientización ambiental y el ahorro económico que producen dichos vehículos ha conllevado a que el país se involucre más en el avance tecnológico y en el cambio de paradigma sobre el uso de combustibles fósiles, siendo esta última, parte del cambio de la matriz productiva, que incursiona en el aprovechamiento y uso de energía limpias a través de plantas hidroeléctricas que produzcan mayor cantidad de energía eléctrica para el país.

Al igual que los vehículos normales, este tipo de vehículos necesita un mantenimiento apropiado, que además del mantenimiento mecánico, existe un

mantenimiento en especial realizado a las baterías de alta tensión que almacenan la energía que necesitan para su funcionamiento, actualmente el diagnóstico realizado a este tipo de baterías viene dado por toma de datos analógicos en lapsos estipulados por el técnico especialista que, bajo su criterio, evalúa el estado de las mismas, reutilizándolas o descartándolas. O bien superado el tiempo de vida útil que proporciona el concesionario se opta por el cambio total de la batería de alta tensión, provocando así el desaprovechamiento de baterías que, una vez realizadas un mantenimiento apropiado, pueden seguir cumpliendo con su función de una manera eficiente.

Dadas las circunstancias del mantenimiento que actualmente se utiliza para evaluar las baterías de alta tensión y los procesos que se toman a consideración para su reutilización. Un sistema de mantenimiento controlado por computador basado en parámetros de desempeño de las mismas es oportuno para poder brindar un diagnóstico eficiente de cada batería con el fin de evitar su desecho innecesario, además de brindar modelos de mantenimiento para establecer la durabilidad de las baterías en función de parámetros como son el, estado de salud y el tiempo de descarga.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general.

- Investigar los parámetros de desempeño de las baterías de alta tensión de vehículos híbridos y eléctricos al aplicar un sistema de mantenimiento controlado para lograr un diagnóstico eficiente

1.5.2 Objetivos específicos.

- Investigar y valorar fuentes bibliográficas confiables, tales como tesis previas para sistemas de mantenimiento controlado de baterías de alta tensión.
- Determinar parámetros de funcionamiento baterías de alta tensión de las principales marcas del Ecuador en vehículos híbridos y eléctricos
- Investigar parámetros de funcionamiento de las baterías de alta tensión
- Determinar parámetros característicos de las baterías tales como sistemas de carga/ descarga, estado de salud
- Seleccionar elementos electrónicos para la construcción del equipo de diagnóstico y monitoreo
- Establecer modelos de comparación o de cálculo para establecer la durabilidad de las baterías en base el SOC, DSOC y estado de salud.
- Diseñar la interfaz del equipo de diagnóstico y monitoreo controlado de baterías de alta tensión.
- Monitorear baterías de alta tensión mediante la toma de medidas o recopilación de datos

1.6 Metas.

- Alcanzar una investigación de fuentes bibliográficas confiables, tales como tesis previas para sistemas de mantenimiento controlado de baterías de alta tensión.
- Obtener un modelo de mantenimiento eficiente para prolongar la vida útil de las baterías, mediante la variación de los parámetros de carga.

- Disponer del equipo de diagnóstico, monitoreo y mantenimiento controlado para el diagnóstico eficiente de baterías de alta tensión.

1.7 Hipótesis.

Al aplicar un sistema de mantenimiento controlado para el diagnóstico eficiente de baterías de alta tensión de vehículos híbridos y eléctricos permite aumentar el tiempo de vida de la batería y mejorar el estado de sus parámetros.

1.8 Variables de la investigación.

1.8.1 Variable independiente.

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente.

(Mantenimiento controlado de baterías HV)

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Es un sistema de mantenimiento controlado para un diagnóstico eficiente de las baterías de vehículos híbridos y eléctricos que permita prolongar la vida útil de las baterías.	Académico Tecnológico	Fuente de tensión	Voltios	Medición Experimentación	Guías Protocolos de pruebas Hoja de datos Ecuación
	Académico Tecnológico	Autonomía de las baterías HV	Segundos	Medición Experimentación	Guías Protocolos de pruebas Ecuación Encuestas
	Académico Tecnológico	Temperatura de operación	°C	Medición Experimentación	Guías Protocolos de pruebas

CONTINÚA 

Académico Tecnológico	Capacidad	A- h	Medición Experimentación	Guías Protocolos de Pruebas Ecuación
Académico Tecnológico	Estado de Carga (SOC)	%	Medición Experimentación	Guías Protocolos de Pruebas Ecuación
Académico Tecnológico	Estado de descarga (DSOC)	%	Medición Experimentación	Guías Protocolos de Pruebas Ecuación
Académico Tecnológico	Estado de salud (SOH)	%	Medición Experimentación	Guías Protocolos de Pruebas Ecuación
Académico Tecnológico	Parámetros comparativos	Vnom	Investigación	Guías
Académico Tecnológico	Parámetros comparativos	Anom	Investigación	Guías
Académico Tecnológico	Parámetros comparativos	A-hnom	Investigación	Guías

1.8.2 Variables dependientes.

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente.

(Vida útil de la batería HV)

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumento
					Guías
	Académico Tecnológico	Tiempo de carga- descarga	Seg	Medición Experimentación	Protocolos de pruebas

CONTINÚA 

Es el tiempo en el cual una batería se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento y operación.	Académico	Costos de desplazamiento	Kw/h	Medición	Guías
	Tecnológico				Protocolos de pruebas
					Ecuación
	Académico	Costo económico de reposición de batería HV.		Medición	Guías
	Tecnológico		\$	Investigación	Hoja de datos
	Académico	Costos de operación		Medición	Guías
	Tecnológico		\$	Experimentación	Protocolos
Académico	Consumo de corriente		Amp/h	Medición	Protocolo
Tecnológico				Experimentación	Hoja de datos
Académico	Estado de Carga (SOC)			Medición	Protocolos de pruebas
Tecnológico			%	Experimentación	Ecuación
Académico	Estado de descarga (DSOC)		%	Medición	Protocolos de Pruebas
Tecnológico				Experimentación	Ecuación

1.9 Metodología de desarrollo del proyecto

Método inductivo

Se utilizó este método para determinar los parámetros de funcionamiento de las baterías de los vehículos híbridos y eléctricos así mismo para determinar los parámetros para una carga eficiente, además los resultados y conclusiones obtenidas pudieron ser realizados a distintos tipos de baterías.

Método comparativo

Este método permitió comparar los parámetros obtenidos mediante la interfaz gráfica de baterías con el fin de determinar que parámetros de carga son los más eficientes al ser sometidas al proceso de mantenimiento controlado.

Método experimental.

Se utilizó este método para realizar pruebas, de procesos de carga-descarga controlados a una corriente de carga controlada y un monitoreo en tiempo real mediante una interfaz gráfica.

Métodos de medición

A través del método de medición se obtuvo valores de voltajes de carga-descarga, tiempos de carga-descarga, valores de corriente de forma gráfica y con el uso de voltímetros digitales.

Método de matematización.

Una realizado el mantenimiento eficiente, se utilizó este método para comprobar la mejora del estado de salud de la batería de una manera científica.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios a utilizar.

Táctica/Método	Descripción	Instrumento/Equipo	Laboratorio
Método Inductivo	Se utilizó este método para determinar los parámetros de funcionamiento de los distintos tipos de baterías de alta tensión de los vehículos híbridos y eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías HV. • Banco carga-descarga. • Computador Portátil • Multímetro Automotriz. • Interface 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método Comparativo	Permitió comparar los parámetros de funcionamiento de baterías en buen estado con baterías que requieran mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías HV en buen estado. • Baterías HV usadas. • Computador Portátil • Multímetro Automotriz. • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método experimental.	Este método se utilizó para realizar pruebas para obtener parámetros finales con ayuda de equipos especiales y con el uso del banco carga-descarga y su interface, para así determinar la mejora en su tiempo de vida útil.	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías HV. • Banco carga-descarga. • Computador Portátil • Multímetro Automotriz. • Interface. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método de Medición	Este método permitió medir todos los voltajes, corrientes, tiempo de carga, tiempo de descarga, tiempo de vida útil de la Batería HV para comparar su estado de salud final con el estado de salud inicial.	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías HV. • Computador Portátil • Multímetro Automotriz. • Interface 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método de matematización.	Una vez obtenidos los resultados de la investigación, se procesaron con fórmulas matemáticas, para poder justificar de una forma científica los parámetros de funcionamiento de las baterías HV.	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías HV. • Computador Portátil • Multímetro Automotriz. • Interface 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2 Sistema de almacenamiento de energía

(Jiménez Cañizares, 2018) Señala que: “las tecnologías de almacenamiento de energía consisten en métodos utilizados para conservar la energía en cualquier forma y poder liberarla cuando ésta sea requerida. Dichas tecnologías se pueden clasificar en almacenamiento de forma directa e indirecta”. (p.10)

Las tecnologías de almacenamiento directo de energía son, entre otras:

- Bobinas magnéticas superconductoras
- Condensadores eléctricos

Mientras que el almacenamiento indirecto se puede realizar mediante:

- Baterías

2.1 Híbridos en serie

(Ávila Meza , 2014) afirma que “En esta configuración el motor a gasolina mueve un generador, el cual carga las baterías o alimenta al motor eléctrico que maneja la transmisión del vehículo. En este caso existe motor a gasolina no mueve directamente al automóvil”. (p.6)

Los HEV de serie, la salida mecánica del ICE se convierte primero en electricidad utilizando un generador. La electricidad convertida carga la batería o puede evitar la

batería para impulsar las ruedas a través del mismo motor eléctrico y la transmisión mecánica. Debido al desacoplamiento entre el motor y las ruedas motrices, tiene la ventaja definida de flexibilidad. (Chan, 2007, pág. 708)

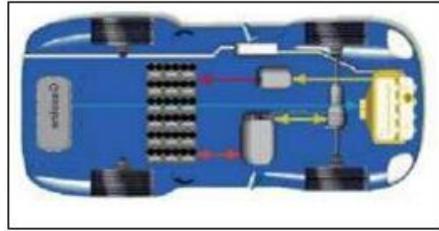


Figura 2. Arquitectura de HEV

Fuente: Chan (2007)

La batería suministra la energía necesaria al vehículo eléctrico. Sin embargo, el 100 por ciento de toda la energía de la batería para conducir el vehículo, así como el 100 por ciento de la energía dinámica del vehículo recapturado a través de frenado regenerativo eficaz pasar a través de la máquina eléctrica. Por lo tanto, un motor eléctrico altamente eficiente en una amplia gama de condiciones de conducción es altamente deseable.

2.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Con un cargador de batería y un tanque de combustible, PHEVs dispone de dos fuentes de energía a bordo: almacenadas. Energía eléctrica de la red y energía química almacenada en forma de combustible. Al utilizar estas fuentes de energía. Juntos o por separado, los PHEV se pueden diseñar y Controlado para conducir con mejor

rendimiento, mayor energía, mayor eficiencia, menor impacto ambiental y menor costo que los HEV convencionales. (Bradley & Frank, 2007, pág. 116)

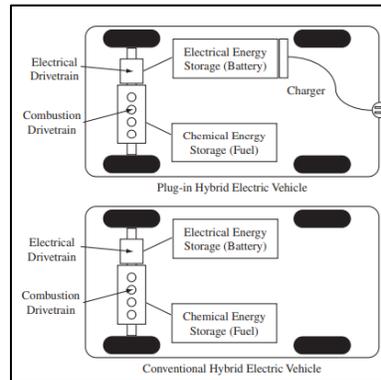


Figura 3. Arquitectura de los vehículos híbridos eléctricos e híbridos plug-in.

Fuente: Bradley & Frank (2007).

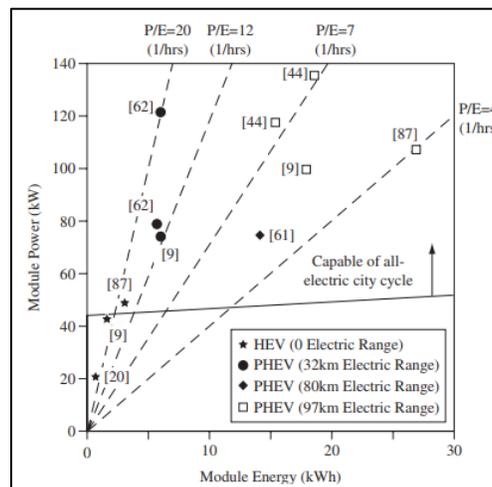


Figura 4. Energía del sistema de la batería para los vehículos eléctricos híbridos

Fuente: Bradley & Frank (2007)

2.3 Paquete de baterías

Un paquete de baterías es una combinación de múltiples funciones y componentes con diseño que implica la aplicación de principios electroquímicos, mecánicos, de control y termodinámicos. Básicamente, una batería para aplicación vehicular consiste en muchas células individuales apiladas en un orden específico con interconexión entre ellas para el flujo de potencia. (Rajasekhar & Gorre, 2015, pág. 1)

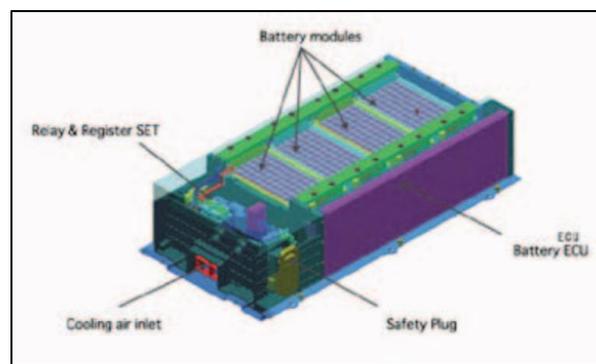


Figura 5. Paquete de batería de litio-ion Manganeso

Fuente: Rajasekhar & Gorre (2015)

Para conseguir el funcionamiento adecuado de las células se añaden al paquete, paquetes de electrónica de control y dispositivos de refrigeración térmica adicionales para obtener la funcionalidad deseada. Las baterías de alta tensión desempeñan un papel fundamental en la cadena de suministro de energía para un vehículo híbrido y eléctrico. Esto hace que su diseño sea muy crítico e importante para que funcionen en todo momento y en todos los escenarios previstos

La selección y el diseño de la batería se componen de muchos pasos que se enumeran a continuación:

- Definición de las especificaciones del paquete mediante el dimensionado de la batería.
- Selección de la tecnología de la batería / célula
- Diseño de la batería (estructural, eléctrica y de control)
- Prueba de la batería

La batería es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo ánodo y un electrodo negativo o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función. Es el componente principal de los vehículos eléctricos puesto que de ellas depende en gran parte el precio, el peso y la autonomía de estos vehículos. (Ruíz García, 2015, pág. 11)



Figura 6. Pack de baterías.

2.4 Proceso de carga

(Viera Pérez, 2003) menciona que: “existen diferentes métodos para realizar la carga de una batería de media y gran capacidad y estos se pueden clasificar en función

de la forma en que puede variar la tensión o la corriente durante el proceso de carga o en función del tiempo que se requiere para realizar la recarga de la batería” (p.50)

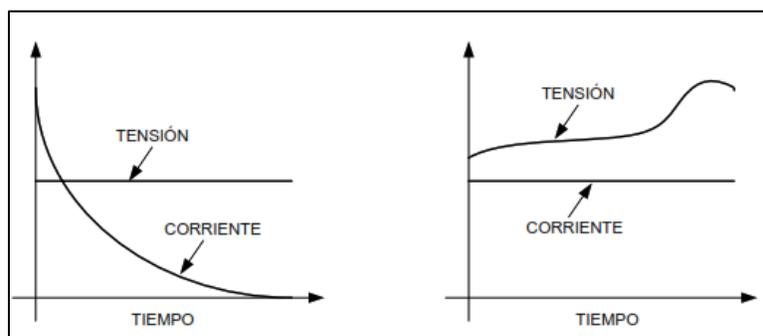


Figura 7. Tipos de carga a corriente constante y variable

2.5 Sistemas de cargador

Los sistemas de cargador de baterías se clasifican en los tipos off-board y on-board con flujo de potencia unidireccional o bidireccional. Un cargador de batería típico tiene dos etapas principales: un convertidor AC-DC conectado a la red y un convertidor DC-DC para regular la corriente de la batería.

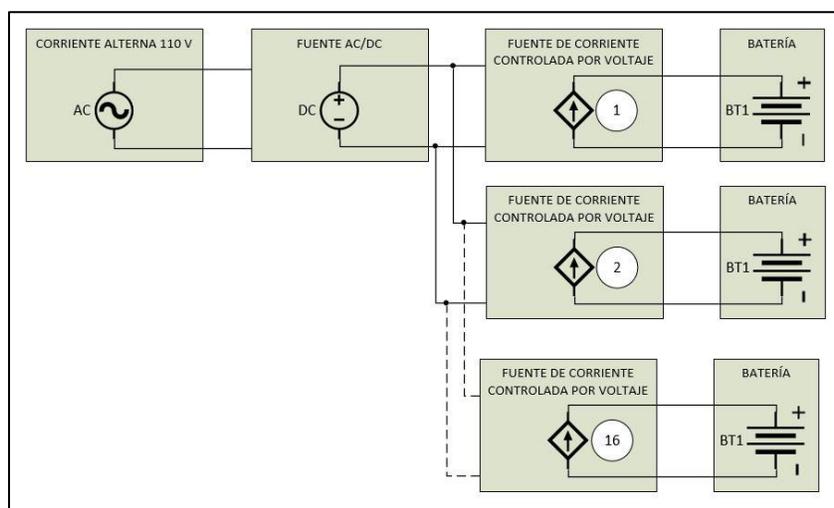


Figura 8. Cargador típico de batería

2.6 Importancia de la batería de alta tensión

Para que un vehículo híbrido moderno pueda funcionar con energía eléctrica, es necesario que esta provenga de alguna parte, dado que estos vehículos tienen que ser totalmente autónomos de la ruta por la que van a transitar, de la velocidad a la que van a circular, etc. No es posible anclarlo por ejemplo a un tendido eléctrico como es el caso del trolebús ya que se trasladará por la ruta que a su conductor más le convenga y no por un circuito o ruta preestablecida. (Augeri F. , Cise Electronics, 2011)

2.7 SOC

En las baterías de alta tensión de los vehículos híbridos y eléctricos el SOC (estado de carga) es de vital importancia para el funcionamiento del sistema.

El estado de carga (SOC) es el nivel de carga de la batería de alta tensión, normalmente expresado como un porcentaje del total de la capacidad máxima que tiene.

En un concepto similar al nivel de combustible, por ejemplo un 50% del SOC es equivalente a $\frac{1}{2}$ tanque de combustible.

2.8 Determinación del estado de carga SOC de la batería

$$\%SOC_t = \frac{I_{carga} * t * 100\%}{C_{Batería}} + \%SOC_{40\%}$$

Ecuación 1: ecuación de estado de carga SOC.

$\%SOC_t =$ Porcentaje de estado de la batería (porcentaje, %)

$t = \text{tiempo de carga (horas)}$

$I_{\text{carga}} = \text{Intensidad de carga de la batería (amperios, A)}$

$C_{\text{Batería}} = \text{Capacidad de la batería (amperios hora, Ah)}$

$\%SOC_{40\%} = \text{Porcentaje de carga que conserva la batería (porcentaje, \%)}$

2.9 DSOC

El complemento del SOC es el DSOC, que es la profundidad de descarga, indicando la descarga de la batería, si se tiene un 45 % de SOC es equivalente a un 55 % de DSOC.

2.10 Estado de descarga DSOC en función del tiempo.

$$\%DSOC_t = 4 * \left(\frac{C_B}{I_D * t_D} \right)$$

Ecuación 2: Ecuación de estado de descarga DSOC

$\%DSOC_t = \text{Porcentaje de estado de descarga de la batería (porcentaje, \%)}$

$t_D = \text{Tiempo de carga (horas)}$

$I_D = \text{Intensidad de descarga de la batería (amperios, A)}$

$C_B = \text{Capacidad de la batería (amperios hora, Ah)}$

2.11 EV powertrain

El diagrama esquemático del grupo motriz BEV. Como Puede verse en la figura 11 el grupo moto propulsor BEV consiste en un grupo de alta tensión: (HV) sistema de batería, trifásico DC / AC inversor, monofásico, Cargador de batería de CA / DC, sistema de transmisión y Motor eléctrico (EM). En este tren propulsor, una batería de alto voltaje (HV), el sistema está conectado directamente al enlace de CC, mientras que el convertidor AC / DC se utiliza para conectar el sistema de baterías HV a la red de CA durante los modos de carga / descarga. Además, en la ilustración inferior se muestra el Diagrama de bloques con diferentes métodos de control EM en el grupo moto propulsor BEV además se puede observar en la figura inferior, que pueden utilizarse diferentes métodos de control para generar las señales PWM con el fin de controlar el voltaje. (Hegazy, El Baghdad, Van Mierlo, Lataire, & Coosemans, 2014, pág. 60)

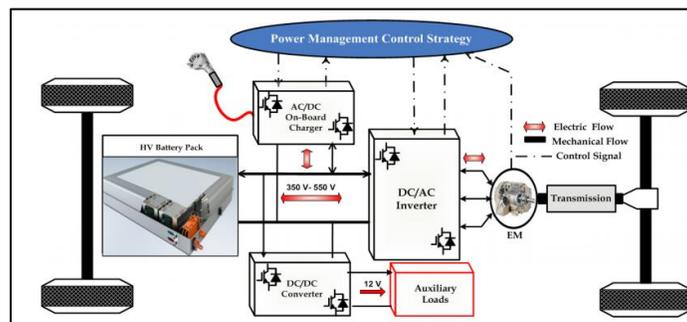


Figura 9. Diagrama esquemático del grupo moto propulsor BEV

Fuente:(Hegazy et al., 2014)

2.12 Vehículo eléctrico

El motor eléctrico es cuatro veces más eficiente que el motor de combustión interna. La tecnología existe, y la única cuestión que queda por desarrollar son las

baterías que proporcionen una autonomía adecuada entre recargas a un coste razonable. Las soluciones van desde los híbridos enchufables a los vehículos totalmente eléctricos, empleando baterías de ión litio o de otros materiales en desarrollo, como las baterías Zebra o de Zinc-aire, además de los desarrollos de la nanotecnología. (Santamarta, 2009, pág. 28)

2.13 Batería de alta tensión

La gran mayoría de marcas tienen sus propios sistemas de baterías híbridas, existiendo una gran particularidad en sus características de funcionamiento especialmente en los componentes que conforman el sistema como son grupos de celdas bajo un orden de conexión específico, control de temperatura, control de activación de componentes de alta tensión. Algunas baterías HV están formadas por un paquete de Módulos que consiste de 28 módulos de baterías de Ni-MH de bajo voltaje (7.2 voltios) conectados en serie para producir aproximadamente 201.6 voltios. Cada módulo de baterías de Ni-MH tiene diseño anti derrames y está en una caja hermética. El electrolito que se usa en el módulo de baterías de Ni-MH es una mezcla alcalina de potasio e hidróxido de sodio. El electrolito se absorbe en las placas de las celdas de la batería y normalmente no tendrá fugas, incluso en caso de una colisión. (Augeri & López, 2013, pág. 5)

Cuando la batería de un vehículo híbrido está muy próxima al final de su vida útil, se enciende un indicador en el cuadro de mandos que advierte al conductor y el vehículo limita su potencia entrando en “modo avería”. Esto suele suceder en un

periodo que oscila entre los 7 y 10 años, entre los 240.000 y 480.000 kilómetros, dependiendo del uso y el mantenimiento que se haya dado.

2.14 Parámetros característicos en baterías

Para el estudio del funcionamiento de una batería se usan una serie de conceptos técnicos que se presentaran a continuación:

- **Celda.** Es la mínima parte que forma una batería y puede ser conectada en serie o en paralelo con otras celdas a fin de conseguir los valores de corriente y de tensión requeridos.

- **State Of Charge (SOC).** Permite conocer el estado de carga de la batería en valores energéticos o porcentuales. Este parámetro tiene mayor relevancia, ya que nos da una importante información sobre nuestro sistema de almacenamiento.

- **Depth Of Discharge (DOD).** Se define como la profundidad de los ciclos de carga/descarga. Es la relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma. Es un parámetro alternativo al SoC para conocer el estado de carga de una batería. Cuando el SoC disminuye, el DoD aumenta y viceversa.

- **Tensión de vacío (E0).** Es la tensión que una batería tiene entre sus borneras cuando no hay un consumidor conectadas a las mismas. Su valor queda determinado por las características intrínsecas de la batería.

- **Tensión en circuito cerrado (E).** Es la tensión que aparece en las borneras de una batería cuando se conecta a la misma un consumidor. La tensión en circuito

cerrado de una batería disminuye al conectarla a una carga dependiendo de la corriente que el consumidor requiera.

- **Resistencia interna.** La resistencia interna es una consecuencia eléctrica de las complejas relaciones químicas que se producen dentro de una batería.

- **Capacidad.** Se conoce como capacidad a la cantidad de electricidad que se puede almacenar en una batería para luego descargar medida en amperios-hora (Ah).

- **Capacidad nominal.** Es la capacidad que puede suministrar una batería desde máxima carga hasta alcanzar una tensión en descarga determinada. Se mide a temperatura ambiente fijada y utilizando una razón de descarga constante. Por ejemplo, una batería de una celda tiene una capacidad nominal de 50 Ah cuando descargándola desde máxima carga, con una corriente constante de 5 A y a temperatura de 21 °C, es capaz de mantener la tensión por encima de 1 V durante al menos 10 horas.

- **Capacidad real.** Es la capacidad que puede suministrar una batería desde su estado de máxima carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal. La capacidad real puede ser mayor o menor que la capacidad nominal, dependiendo de la razón de descarga utilizada y de la temperatura de trabajo ya que las diversas condiciones de funcionamiento de la batería determinan su capacidad.

- **Capacidad retenida.** Capacidad conservada a lo largo del tiempo por la batería después de un periodo de inactividad o reposo.

- **Máxima corriente de descarga continua.** Es la máxima corriente que la batería puede descargar de forma continuada. Este límite viene definido por el fabricante para evitar daños o reducción de su capacidad.

- **Coulomb.** El sistema internacional usa esta unidad para la medida de la magnitud física cantidad de energía (carga eléctrica). Para esta magnitud, se suelen usar múltiplos y submúltiplos para definir la corriente en cada uno de los ciclos de una batería. Un Coulomb es la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad.

- **Autodescarga.** Es la pérdida de capacidad de una batería, cuando la misma se mantiene en circuito abierto. Por lo general, la autodescarga se expresa en términos de porcentaje de pérdida de capacidad respecto la capacidad nominal en un periodo de tiempo de un mes.

- **Sobrecarga.** Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después alcanzar los valores nominales proporcionados por el fabricante.

- **Vida útil.** Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso.

- **Eficacia (%).** Es la relación de energía eléctrica que devuelve la batería en relación a la que ha sido necesaria para cargarla.

- **Curvas de carga y descarga (SOC).** Gráficas utilizadas para definir el funcionamiento y prestaciones de una batería. Permite definir cuándo se ha requerido energía a la batería y cuando se le ha suministrado.

2.15 Tipos de baterías de alta tensión

Existen varios tipos de baterías dependiendo de la necesidad del fabricante de vehículos híbridos y eléctricos, ya que se requiere baterías con distintos números de celdas, distinta composición, diversos voltajes nominales y por ende baterías que entreguen distintas capacidades, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4
Tipos de baterías de alta tensión.

Marca	Modelo	Voltaje nominal	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición	Capacidad
BMW	i3	360 V	96	3.75 V		22 kW/h
BMW	I8	355 V	96	3.7 V		7.1 kW/h
Honda	Accord	144 V	20	7.2 V	NiMH	5,5 A/h
Honda	Civic	158.4 V	22	7.2V	NiMH	5.5 A/h
Hyundai	Ioniq	360 V	94	3.8 V	LiNiMnCo2	28 kW/h
Kía	Optima	360 V	96	3,75 V	Lithium Ion	9.8 kW/h
Kía	Soul ev	360 V	192	4.1 V	Lithium Ion	27 kW/h
Lexus	GS 450h	288 V	40	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	IS 300h	230.4 V	32	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Lexus	RX 400h	216 V	30	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Mercedes Benz	S550 PLUG-IN HYBRID	396 V	120	3,3 V	Lithium Ion	22 A/h
Nissan	Altima	270.6 V	34	7.96V	NiMH	6.5 A/h
Renault	Fluence	360 V	192	3.75 V	Lithium Ion	32.5 A/h
Renault	Zoe	400 V	192	4.1 V	Lithium-ion	22 kW/h
Tesla	S60	310 V	22	14 V	Lithium Ion	60 kW/h
Toyota	Auris	201.6 V	28	7.2 V	NiMH	6.5 A/h

CONTINÚA 

Toyota	Camry	244.8 V	34	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Highlander	220 V	28	7.89 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Prius	201.6 V	28	7.2 V	NiMH	6.5 A/h
Toyota	Yaris	144 V	20	7.2 V	NiMH	6.5 A/h

2.16 Batería HV del Prius 2001-2004 segunda generación

(Espinoza Delgado, 2013) menciona que: “una batería recargable de alto rendimiento de hidruro de níquel-metal se utiliza en el Prius 2004. La batería consta de 38 módulos de bajo voltaje (7.2V cada uno) conectados en serie para producir 273,6 V nominal.” (p.50)



Figura 10. Batería HV del Prius 2001-2004 segunda generación.

Fuente: (Ávila Meza, 2014)

2.17 Batería HV del Prius 2004-2009 tercera generación

Esta batería de alta tensión provee un voltaje de 220 V en las versiones modernas, y voltajes mayores para versiones anteriores del Prius, este voltaje proviene

de un paquete de 14 baterías en serie dispuestos así: Existen 28 baterías pequeñas de 7,89 V cada una y están conectadas en serie de dos en dos para formar 14 paquetes de baterías de 15,78 V cada una y a su vez están conectadas todos estos 14 paquetes en serie para generar un total de 220 Voltios.” (Ávila Meza , 2014, pág. 33)

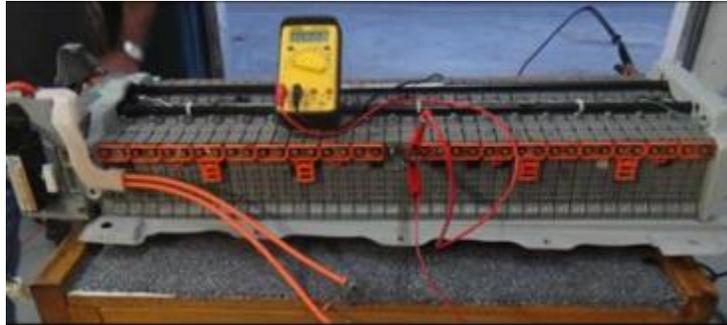


Figura 11. Batería HV del Toyota Prius 2004-2009 tercera generación.

Fuente:(Ávila, 2014)

Existen 28 baterías pequeñas de 7,89 V cada una están conectadas en serie de dos en dos para formar 14 packs de baterías de 15,78V cada pack y a su vez están conectadas todos estos 14 paquetes en serie para generar un voltaje total de 220 V. Cada pack de 15, 78 V tiene un monitoreo de voltaje que va a la ECU de la Batería, cada monitoreo toma progresivamente la suma de los packs. (Augeri F. , 2015)

2.18 Batería HV del Toyota Prius 2010 o cuarta generación

Para el funcionamiento del vehículo híbrido es necesario que en momentos los motores-generadores sean accionados empleando la energía almacenada, esta carga se encuentra en la batería de alta tensión, la cual en carga nominal posee un mínimo de 201.6 V. Todo paquete suministra tensión en conjunto al inversor, este recibe la carga

en condiciones específicas como accionamiento de MG1 o mediante MG2 en el denominado freno regenerativo. (Barros, 2015, pág. 21)

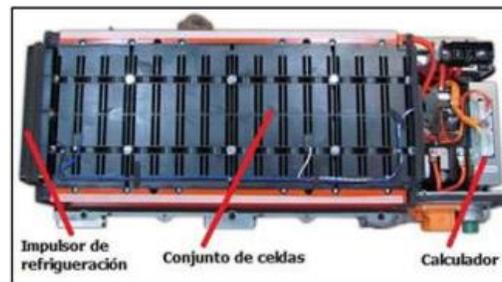


Figura 12. Batería TOYOTA PRIUS 2010.

Fuente: (Barros, 2015)

2.19 Batería HV del Toyota Prius C.

El modelo salió al mercado a partir del 2012 experimentando varios cambios como su tamaño, peso y su voltaje nominal de 144 voltios. Está fabricado de Níquel Metal y su ubicación es debajo del asiento posterior, tanto su estado de carga SOC es monitoreado y controlado por la ECU de la batería. Esta batería está compuesta de 20 celdas de 6 células cada una que proporciona 1.2 voltios cada uno y sumando un total de 7.2 voltios en cada celda y en total 144 voltios de toda la batería. La unidad de batería o ECU monitorea el voltaje de la batería de bloque en 10 lugares. Cada bloque de la batería está compuesto de 2 celdas en un conjunto. (Augeri F. , 2015)



Figura 13. Batería Toyota Prius C.

Fuente: (Ávila, 2014)

2.20 Batería HV del Toyota Highlander.

Este tipo de baterías están ubicados debajo del asiento trasero del vehículo la cual tiene un sistema de frenado regenerativo para cargarlo. Este sistema se activa cuando el vehículo está en movimiento es decir convierte la energía cinética en energía eléctrica para que entre en funcionamiento el motor eléctrico. Esta batería está formada por tres bloques dos de 12 celdas y uno de 6 celdas intermedio que forma un total de 30 celdas cada una con 8 células que proporciona 1.2 voltios en serie y sumando tiene 9.6 voltios que en total en la batería tendrá un voltaje nominal de 288 voltios. La ECU de la batería monitorea los bloques en 15 lugares y cada bloque está formado por 2 celdas. (Augeri F. , 2011)



Figura 14. Batería HV del Toyota Highlander

Fuente: (Ávila, 2014)

2.21 Batería HV del Ford Escape



Figura 15.Batería Ford Escape

Fuente: (Ávila, 2014)

La batería de alto voltaje (HVTB) es fabricado por Sanyo del componente Hidruro de Níquel con un total de 50 celdas de forma circular y cada una proporciona 6 voltios, está conectado en serie cada paquete formando 25 con un voltaje de 12 voltios y un voltaje nominal de la batería de 300 voltios.

Este sistema está conectado a un sistema de tierra flotante que aísla de la batería de 12 voltios y sus componentes, dentro de esta carcasa se encuentra la unidad de control de la batería, la misma que controla el funcionamiento de la batería como el

estado de carga, temperatura y activa y desactiva los ventiladores para enfriar el sistema.

2.22 LabView

Es un software de ingeniería que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos. Ofrece un enfoque de programación gráfica que le ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas, siendo la versión profesional 2017, la que permite la incorporación de módulos de programación independientes a su programa principal, incrementando la funcionalidad del mismo.

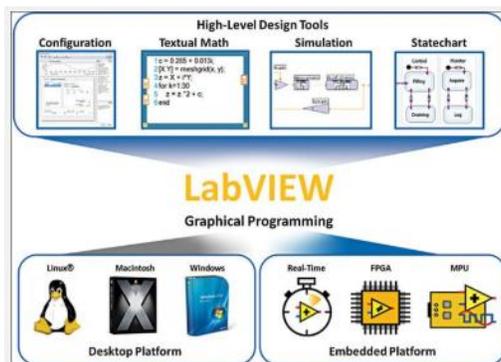


Figura 16. LabView

Fuente: (UTN 2018)

2.23 Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirla en una salida: activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a su tarjeta qué debe hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la tarjeta. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL EQUIPO DE DIAGNÓSTICO Y MONITOREO

En este capítulo se detalla las consideraciones a tomar en cuenta y los cálculos necesarios para la selección de elementos electrónicos durante el proceso en el diseño y desarrollo del banco de pruebas, además del software utilizado para la elaboración de la interfaz que lo controla.

3 Levantamiento de requerimientos

3.1 Datos de partida

La información de voltaje de cada celda para consideraciones en selección de elementos electrónicos se detalla en la tabla 5. Siendo la celda con el mayor voltaje tomado como punto de partida al ser la que necesita mayor diferencial de potencial para su carga, por consecuente, las celdas con menor voltaje también pueden ser cargadas en el banco de pruebas.

Tabla 5
Selección de baterías para diseño del banco.

Marca del vehículo	Modelo	Número de celdas	Voltaje por celda	Composición
BMW	i3	96	3.75 V	NiMH
BMW	i8	96	3.7 V	NiMH
Honda	Accord	20	7.2 V	NiMH
Honda	Civic	22	7.2V	NiMH
Hyundai	Ioniq	94	3.8 V	LiNiMnCo2
Kía	Optima	96	3,75 V	Lithium Ion
Kía	Soul ev	192	4.1 V	Lithium Ion

CONTINÚA 

Lexus	GS 450h	40	7.2 V	NiMH
Lexus	IS 300h	32	7.2 V	NiMH
Lexus	RX 400h	30	7.2 V	NiMH
Mercedes Benz	S550 PLUG-IN HYBRID	120	3,3 V	Lithium Ion
Nissan	Altima	34	7.96V	NiMH
Renault	Fluence	192	3.75 V	Lithium Ion
Renault	Zoe	192	4.1 V	Lithium-ion
Tesla	S60	22	14 V	Lithium Ion
Toyota	Auris	28	7.2 V	NiMH
Toyota	Camry	34	7.2 V	NiMH
Toyota	Highlander	28	9.6 V	NiMH
Toyota	Prius	28	7.2 V	NiMH
Toyota	Yaris	20	7.2 V	NiMH

El valor más alto de voltaje de cada celda es del vehículo Toyota Highlander, con celdas de voltaje nominal 9.6V y de material de construcción Ni-Mh (Niquel-Hidruro metálico) que es utilizado como dato en la etapa 4 de la figura 21.

3.2 Cálculos de voltaje, corriente y potencia disipada

3.3 Circuito de carga Individual

El circuito de carga está comprendido como lo indica en la figura 18

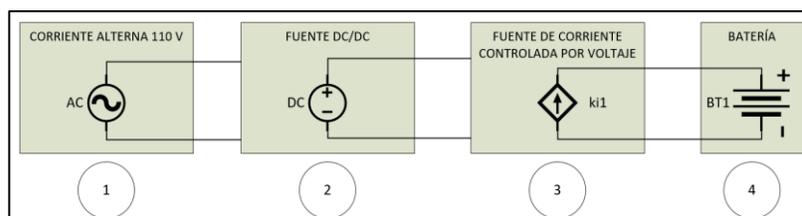


Figura 17. Elementos electrónicos necesarios para la carga

3.3.1 Voltaje de carga máximo

Es el voltaje al cual la batería debe llegar después de haber cumplido un ciclo de carga, dicho valor va en función de su voltaje nominal y para obtenerlo hay que tener en consideración que el voltaje censado al momento de la carga no es el voltaje real de la batería, ya que se está haciendo circular una corriente en un circuito cerrado, haciéndose evidente en este punto: la resistencia interna de la misma, la resistencia de los cables utilizados y la resistencia interna del cargador, debido a la resistencia interna varía en dependencia de la batería a cargar y los cables de conexión no serán siempre los mismos, se toma un valor de 15% por encima del voltaje nominal de la batería, esto para asegurar que aunque la batería esté cargada completamente, tenga un diferencial de potencial menor al de la fuente de corriente a utilizar para cargarla, obteniendo así:

$$V_{carga} = V_{nom.max} * 1.15$$

Ecuación 3. Voltaje de carga

$$V_{carga} = 9.6 V * 1.2 \qquad V_{carga} = 11.04 V$$

El valor obtenido es el voltaje máximo censado al que la batería debe llegar, en el momento de la carga, y a su vez, es el voltaje mínimo al que debe ser alimentada la fuente de corriente para cargar la batería.

3.3.2 Corriente de carga máximo

Las fuentes de corriente controladas por voltaje etapa 3 de la figura 21 funcionan en corriente directa, tanto en alimentación como en salida de voltaje, por lo que la fuente AC/DC con el valor de salida más cercano al valor obtenido disponible en el

mercado son las fuentes de computador figura 24 que tienen la posibilidad de conectarse a corriente alterna de la red (110V) y entregar 12.1 V, 5 V y 3.3V de manera constante (en dependencia de la calidad de la misma) a una corriente determinada por la potencia que pueden disipar.

La carga de la batería se realiza en distintas etapas: a corriente constante ajustable, corriente constante recomendada y de absorción. De las cuales la que tiene un mayor consumo es la de corriente constante ajustable, que va determinado por la cantidad de amperios a la que se desea cargar la batería, dicho valor es definido por la razón de carga de la batería y su capacidad nominal, que corresponde a la siguiente formula:

$$K = \frac{\text{Capacidad nominal (Ah)}}{\text{Razón de carga}}$$

Ecuación 4. Capacidad nominal

En donde K es el número de veces a la cual la capacidad nominal será dividida para obtener los amperios de carga a utilizar, su valor es inversamente proporcional a la razón de carga y de este valor depende la cantidad de tiempo necesario para cargar una batería. Las baterías escogidas en el numeral anterior poseen una capacidad de 6.5 Ah, que si están completamente descargadas, Se necesitaría de 6,5 A de corriente constante durante una hora para cargarlas totalmente, sin embargo valores altos de corriente someten a esfuerzos de temperatura al material de las baterías, ya que, al circular una mayor corriente, la potencia disipada en la resistencia interna de la batería

incrementará, traduciéndose también en un incremento de temperatura. Para poder trabajar en un rango inferior de razón de carga máximo al que una batería de este material se puede cargar, se utiliza una razón de carga de 0.5 veces la capacidad nominal, es decir el 50% como valor tope de corriente de carga, teniendo en desventaja el tiempo de carga que se incrementa al doble (en el caso de utilizar el valor del 50%) y de manera proporcional a la razón de carga utilizada.

Con estas consideraciones se obtiene un rango al cual el banco de pruebas debe estar en las capacidades de suministrar. Cabe mencionar que fabricantes de baterías recomiendan una razón de carga de 0.1 o 10% de la capacidad nominal, con el objetivo de realizar una carga segura y sin riesgos de incremento de temperatura, con la desventaja de mayores tiempos de carga.

$$0 > \text{Razón de carga} \geq 0.5$$

Como se selecciona los valores máximos a los cuales se va a trabajar, se considera un 50% de razón de carga para la batería seleccionada obteniendo así:

$$K = \frac{6.5 \text{ Ah}}{0.5}$$

$$K = 3.25 \text{ Ah}$$

El valor de 3.25 son los amperios máximos de carga que se podrán utilizar para no exceder una razón de carga del 50% estipulada anteriormente. Significa que para una batería de 6.5 Ah de capacidad nominal en la condición de totalmente descargada, al ser cargada con 3.25 A durante una hora, esta alcanza el 50% de su capacidad total,

pero como se desea cargarla completamente, el tiempo empleado sería de dos horas debido a la siguiente relación:

$$\frac{1}{\text{Razón de carga}} = \text{Tiempo de carga (horas)}$$

En donde 1 es el tiempo que se demoraría si la batería fuese cargada a K= capacidad nominal, los tiempos obtenidos son aproximaciones al comportamiento de una batería ideal que, dependiendo de su construcción, estado de salud, temperatura, ciclos de carga / descarga, pueden ser mayores o menores a los obtenidos.

3.3.3 Potencia máxima disipada

La potencia disipada va en función de la corriente máxima a la que el banco debe trabajar y el voltaje máximo al cual debe alcanzar, dichos valores van resumidos en la tabla 6.

Tabla 6.
Requerimientos potencia máxima disipada.

Descripción	Valor	Unidad
Voltaje máximo	11.04	Voltios
Corriente máxima	3.25	Amperios

Utilizando la fórmula de potencia, y los datos mencionados en la tabla 6, que son los valores máximos a los cuales el banco trabaja se obtiene

$$P = V * I$$

Ecuación 5. *Calculo de Potencia.*

Dónde:

- P: Es la potencia en Watts
- V: Es el valor del tensión en volts
- I: Es el valor de la intensidad en amperios

Reemplazando:

$$P = 11.04 V * 3.25 A$$

$$P = 35.88 \text{ Watts}$$

El valor obtenido representa la condición máxima de trabajo del banco de carga utilizando valores de voltaje y corriente a determinadas condiciones, sin embargo, el proceso de carga empleado es realizado por etapas, siendo la primera a corriente constante definida por el usuario hasta un 0.5 de relación de carga cuando el voltaje de la batería es inferior al 90% o un porcentaje menor definido por el usuario, la siguiente etapa, es una carga utilizando 0.1 de relación de carga constante y finalmente la tercera etapa llamada de absorción que mantiene el voltaje constante por determinado tiempo permitiendo a la batería “absorber” la corriente que sea necesaria para que pueda alcanzar el 120% de su voltaje nominal. Se puede apreciar que mientras más alto o cercano sea el voltaje al valor del 120% del voltaje nominal, menor será la corriente que circule por el circuito de carga, lo que quiere decir que la potencia calculada anteriormente es alcanzada por el banco de pruebas solo cuando se desee cargar una batería a 3.25 amperios constantes para alcanzar el 120% de su capacidad, lo cual no

sucedirá debido al método de carga a utilizar, Para la potencia calculada se han tomado valores de los extremos inferiores (una batería completamente descarga y cargada a una relación de carga de 0.5) y de extremos superiores (una batería completamente cargada al 120% de su voltaje nominal).

3.4 Circuito de carga General

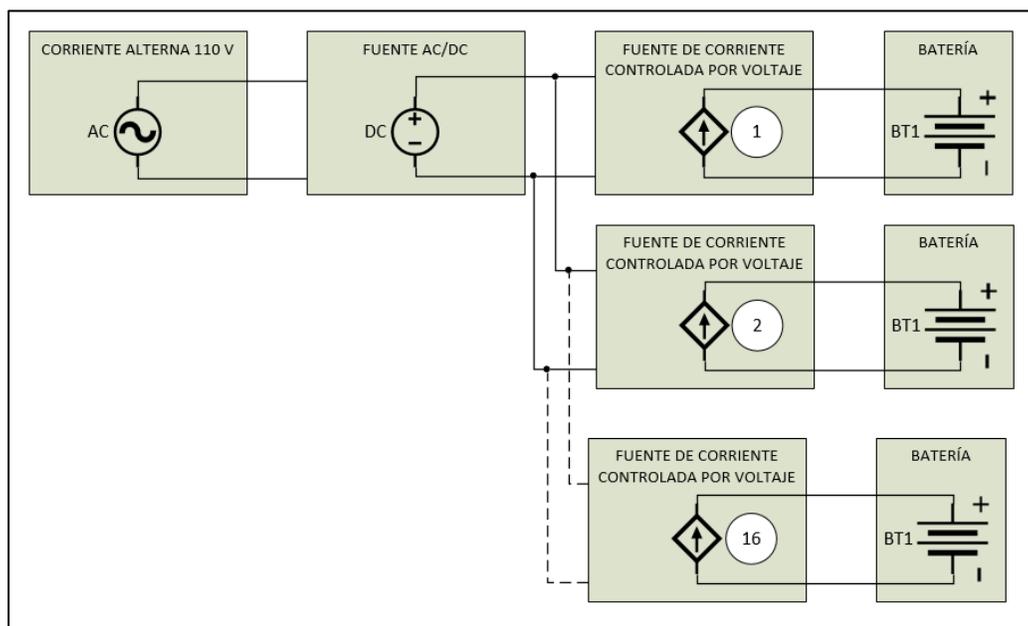


Figura 18 Circuito de carga General

El banco de pruebas es pensado para poder realizar ciclos de carga/ descarga a baterías de forma simultánea e independiente una de otra (figura 19), tomando de dato de partida los valores de corriente máximo que deben suministrar las fuentes de corriente a voltaje constante (3.25 Amperios) y el valor de voltaje de salida de las fuentes AC/DC de 12 volts disponibles en el mercado, se obtiene una potencia necesaria por fuente de:

$$P = V * I$$

$$P = 12 V * 3.25 A$$

$$P = 39 \text{ Watts}$$

El banco es diseñado para cargar 16 baterías de forma individual, necesitando en total una potencia de:

$$P_{TOTAL} = P_{Individual}(\text{Watts}) * N$$

Ecuación 6. *Potencia total.*

Donde N es el número de fuentes de corriente a utilizar, las cuales son 16 igual al número de baterías que se desea cargar, reemplazando se obtiene:

$$P_{TOTAL} = 39 \text{ Watts} * 16$$

$$P_{TOTAL} = 624 \text{ Watts}$$

La potencia obtenida anteriormente es la consumida por todas las fuentes de corriente trabajando a una corriente de 3.25 amperios, en el mercado el valor más cercano de potencia es de 700 Watts, sin embargo, hay que tomar en consideración la eficiencia de la misma, Fuentes de calidad poseen una eficiencia mayor al 90% y están disponibles en potencias que van desde los 200 Watts hasta los 1200 Watts, con la principal desventaja en disponibilidad y precio por fuente haciéndolas una opción poco viable. Fuentes que no cuentan con certificaciones de calidad (como las de eficiencia superior al 90%) cuentan con una eficiencia del 75% y son las que están más disponibles en el mercado con potencias que van desde los 250 Watts hasta los 700 Watts, que es el valor más cercano a la potencia requerida por el banco de pruebas, los

valores de potencias antes mencionados son de manera ideal, utilizando la eficiencia del 75% se obtiene una potencia real que pueden entregar de:

$$P_{REAL} = P_{NOMINAL}(Watts) * 0.75$$

Ecuación 7. Potencia real.

$$P_{REAL} = 700 W * 0.75$$

$$P_{REAL} = 525 Watts$$

Cada fuente puede entregar de manera real una potencia de 525 Watts quedando por debajo de la potencia requerida por el banco, sin embargo, una conexión en paralelo de dos fuentes de iguales características, divide la potencia requerida por fuente para dos, haciéndolas de esta forma trabajar en un rango inferior al de la potencia que pueden entregar.

El banco de pruebas además cuenta con 8 ventiladores de 12 voltios y un consumo de 0.5 Amperios por cada uno, que son un consumo adicional, requiriendo en total una potencia para los ventiladores de:

$$P_{VENTILADORES} = 12 V * 0.5 A * 8$$

$$P_{VENTILADORES} = 48 Watts$$

El valor obtenido se suma a la potencia total requerida por las fuentes de corriente y luego se lo divide para 2, debido a la conexión en paralelo de las dos fuentes AC/DC obteniendo así

$$P_{POR FUENTE} = \frac{P_{TOTAL}(Watts) + P_{VENTILADORES}(Watts)}{2}$$

$$P_{POR FUENTE} = \frac{624 \text{ Watts} + 48 \text{ Watts}}{2}$$

$$P_{POR FUENTE} = 336 \text{ Watts}$$

La potencia antes obtenida es la que será consumida de cada fuente en paralelo, se puede apreciar que la potencia requerida (336 Watts) está por debajo del valor real de potencia que pueden entregar (525 Watts) asegurando así que el banco de pruebas siempre trabaje bajo valores de voltaje y corriente para los cuales ha sido diseñado.

3.5 Resumen de requerimientos del circuito de carga

Los valores de voltaje, corriente y potencia mínimos por cada componente electrónico calculados para el circuito de carga se resumen En la siguiente tabla

Tabla 7.
Requerimientos del circuito de carga.

Requerimientos	Fuente de corriente controlada por voltaje	Fuente AC/DC
Cantidad	16 (independientes)	2 (conectadas en paralelo)
Voltaje de alimentación	12 Volts	110 V
Voltaje de salida	11.04 Volts	12.1 V
Corriente de salida	3.25 A (por cada fuente)	56 A
Potencia requerida	39 Watts (por cada fuente)	336 Watts (por cada fuente)

3.6 Selección de componentes electrónicos para el circuito de carga

3.6.1 Fuente de corriente controlada por voltaje

Se seleccionó las fuentes DC/DC XL4015 (figura 20) las cuales pueden ser alimentadas desde los 36V hasta los 8 V y su salida es ajustable desde los 1.25V hasta los 32V dependiendo la posición de uno de los potenciómetros, posee una eficiencia del 96% lo que implica una caída de tensión para alimentar la placa de alrededor de 1 voltio, lo que la hace idónea para la aplicación en el banco de pruebas, la regulación del voltaje lo realiza mediante PWM de alta frecuencia por lo que se recomienda la conexión en paralelo de un condensador de capacidad considerable (alrededor de 2200 uF) para eliminar el rizo producido por la regulación y así obtener un voltaje más lineal a su salida, la corriente que puede soportar el módulo es de 5 amperios regulables con el segundo potenciómetro, que para el valor establecido de 3.25 amperios como valor máximo, la fuente trabaja no en su rendimiento total y dentro de su rango de operación.

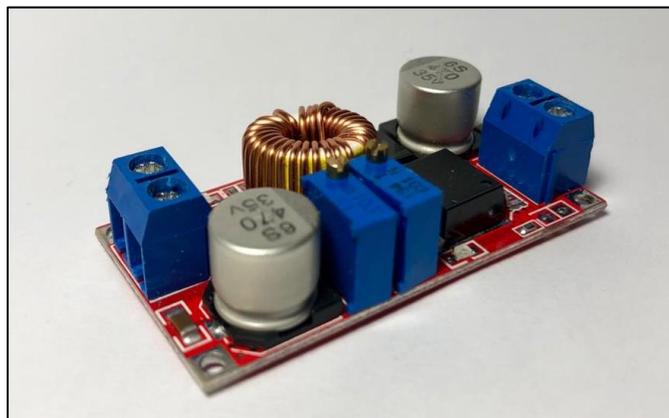


Figura 19.. Fuentes de corriente constante controlada por voltaje

3.6.2 Fuente AC/DC

Para la fuente AC/DC se seleccionaron dos fuentes de computador con salida de 12 V, de potencia nominal de 700 Watts como se muestra en la (figura 21), las cuales son conectadas en paralelo en su aplicación en el banco de pruebas, además las fuentes están en la capacidad de conectarse a la red eléctrica de 110 V.



Figura 20. Fuentes de computador de 700 Watts conectadas en paralelo

3.7 Circuito de descarga

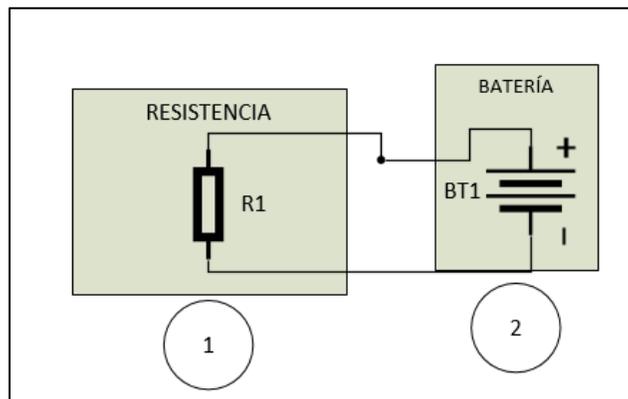


Figura 21. Circuito de descarga individual

El circuito de descarga es un consumidor (resistencia) conectado en paralelo a la batería, que, por ley de Ohm, consume determinada corriente de manera inversamente

proporcional a la impedancia de la misma, es decir, a mayor impedancia, menor es la corriente que circula por el circuito y viceversa.

La batería representada en la figura 22 es considerada como una batería ideal, la cual no posee resistencia interna por efectos de fabricación y calidad de materiales, sin embargo, ya en la práctica, todo componente tiene una resistencia interna lo cual la batería queda representada como se indica en la figura 23.

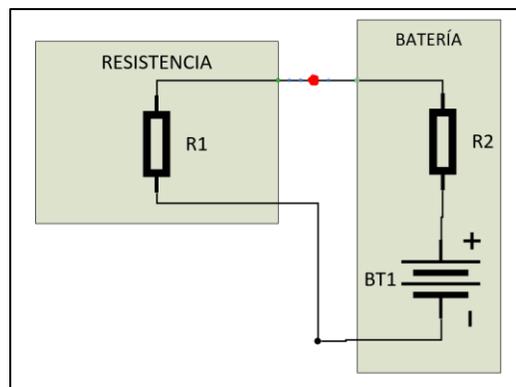


Figura 22 Circuito real de descarga de una batería y punto de toma de datos

En condición de circuito abierto o conocido como voltaje en vacío se puede medir directamente el voltaje que posee la batería independientemente la resistencia interna que esta posea, debido a que como no circula corriente, la caída de tensión en su resistencia interna es nula, resultando así en una medición directa del voltaje en el que se encuentre.

Al someter la batería a una carga, lo que se genera es una conexión en serie de la resistencia interna de la misma con la resistencia de carga o del consumidor, como físicamente no se puede medir voltaje sobre la batería sin su resistencia interna en

circuito cerrado, lo que se hace es tomar medidas en el punto rojo como lo indica la figura 23.

De esta forma el valor medido realmente sería el voltaje del divisor de tensión generado entre ambas resistencias que sufre la siguiente fórmula:

$$V_{batería} = \frac{V_{medido} * (R_1 + R_2)}{R_1}$$

Ecuación 8. Voltaje de batería.

En donde:

- R1: Resistencia de carga o consumidor (Ohmios)
- R2: Resistencia interna de la batería (Ohmios)
- Vmedido: Voltaje medido con el multímetro o por el banco de pruebas. (Voltios)
- Vbatería: Voltaje de la batería (se puede medir en vacío) (Voltios)

En circuito cerrado y con una batería completamente cargada la corriente que circule por ambas resistencias es la máxima a la cual se puede llegar y en medida que la batería va descargándose (disminuyendo su valor de voltaje) la corriente decrecerá.

Como la medición de voltaje se realiza en paralelo a la batería, lo que se está midiendo en realidad es el voltaje que cae en la resistencia de carga y para determinar la resistencia interna de la batería se procede a despejar su valor.

$$V_{batería} = \frac{V_{medido} * (R_1 + R_2)}{R_1}$$

$$R_2 = \frac{V_{batería} * R_1}{V_{medido}} - R_1$$

Analizando la ecuación, se sabe que por ley de Ohm:

$$V = I * R$$

$$V_{medido} = I * R_1$$

$$I = \frac{V_{medido}}{R_1}$$

Donde I es la intensidad en amperios (A) que circula por el circuito, Vmedido es el voltaje en vacío y la batería en voltios (V) reemplazando en la ecuación de resistencia interna (R2) se obtiene:

$$R_2 = \frac{V_{batería}}{I} - R_1$$

De esta forma la resistencia interna de la batería queda en función de:

- I: Intensidad en amperios (A) que circula por el circuito cerrado
- R1: Resistencia en ohmios (Ohm) de carga conectada en paralelo a la batería
- Vbatería: Voltaje de la batería en vacío en voltios (V).

Sin embargo, analizando la ecuación final se observa que el valor de la resistencia interna va variando acorde la corriente que circule por el circuito cerrado, manteniéndose los valores de R1 y Vbatería constantes, teniendo así una relación inversamente proporcional entre corriente y resistencia interna, es decir, a mayor corriente que circule por el circuito menor es la resistencia interna de la batería (mOhm) y viceversa.

Tomando en cuenta la consideración anterior lo más recomendable es descargar la batería a bajas corrientes, debido a que al momento de conectar el consumidor a una batería completamente cargada esta poseerá su capacidad completa y en circuito cerrado la corriente que circula es la máxima a la cual se puede trabajar, disminuyendo progresivamente acorde esta se vaya descargando cumpliendo así con la ley de Ohm, Además resistencias de carga de valor muy bajo conectadas en paralelo producen una mayor caída de tensión en la resistencia interna de las baterías (Divisor de tensión), incrementando la potencia disipada y por consiguiente su temperatura, resistencias de carga de valores altos son recomendables para la descarga de baterías debido a que para ese caso, el valor de tensión que cae en la resistencia de carga es mayor que la que cae en la resistencia interna, evitando así que la batería se caliente, una de las principales desventajas de utilizar resistencias de carga muy altas, es el tiempo que toma en descargar completamente una batería, bajo estas consideraciones se procede a establecer una corriente de descarga que sea por debajo del 1 amperio, con el objetivo de establecer una multiplicación al voltaje en vacío de la fórmula de resistencia interna R_2 y garantizando así que la mayor cantidad de potencia disipada se realice sobre la resistencia de carga y no la resistencia interna de la batería.

$$R_2 = \frac{V_{batería} (V)}{I (A)} - R_1 (Ohm)$$

Para el banco de pruebas se toma como valor de corriente de descarga máxima en condición de una batería completamente cargada (11.04 V tomada de numerales anteriores) y considerada ideal (debido a que cuando se encuentran completamente

cargadas, el valor de resistencia interna que poseen está en el orden de lo mili ohm) un valor de descarga de 0.75 amperios, reemplazando en la ecuación de resistencia interna y despejando R1 que es la resistencia de carga se obtiene:

$$R_2 = \frac{V_{batería}}{I} - R_1$$

$$0 = \frac{11.04 V}{0.75 A} - R_1(Ohm)$$

$$R_1 = \frac{11.04 V}{0.75 A}$$

$$R_1 = 14.72 Ohm$$

La resistencia de carga obtenida (R1) es la necesaria para limitar la corriente a 0.75 amperios en la condición de una batería completamente cargada (11.04 V), obteniendo así una potencia disipada en la resistencia de carga de:

$$P = V * I$$

$$P = 11.04 V * 0.75 A$$

$$P = 8.28 Watts$$

3.8 Resumen de requerimientos del circuito de descarga

En la tabla 8 se detalla las características necesarias de las resistencias a utilizar para la descarga de las baterías.

Tabla 8.
Resumen requerimientos circuito descarga.

Características	Valores
Resistencia	14.75 Ohm (10 Ohm + 4.7 Ohm)
Potencia disipada	8.28 Watts
Corriente de descarga máxima	0.75 Amp

3.9 Selección de resistencias para el circuito de descarga

En el mercado existen resistencias de un valor de potencia de 10 watts que rondan en valores de 4.7, 5, 10 y 20 Ohm entre las más cercanas, para poder alcanzar los 14.72 Ohm necesarios se seleccionan dos valores de resistencia que son de 4.7 Ohm y de 10 Ohm para conectarlas en serie, sin embargo la potencia disipada es mayor al 50% de la potencia nominal de las resistencias, se procede a seleccionarlas en el valor de potencia mayor que es de 20 Watts (figura 24) esto se hace tomando en consideración que las resistencias poseen un valor de potencia nominal al cual pueden trabajar bajo ciertas condiciones de refrigeración, para valores de potencia disipada mayores al 50% de la potencia nominal que pueden soportar, las resistencias elevan aún más su temperatura, requiriendo una mayor refrigeración y al estar hablando de 8.28 Watts se estaría trabajando casi al límite de su capacidad, de esta forma al requerir disipar esta cantidad de watts sobre unas resistencias diseñadas para disipar 20 Watts se garantiza que el banco de pruebas trabaje dentro de un rango inferior al 50% de potencia requerida al momento de descargar las baterías.



Figura 23. Resistencia de 10 Ohm a 20 Watts

3.10 Circuito de descarga General

Como se ha mencionado en numerales anteriores la descarga de las baterías es independiente una de otra, por lo que se requiere de conectar las resistencias de descarga seleccionadas en paralelo a cada batería de forma individual como lo indica la figura 25.

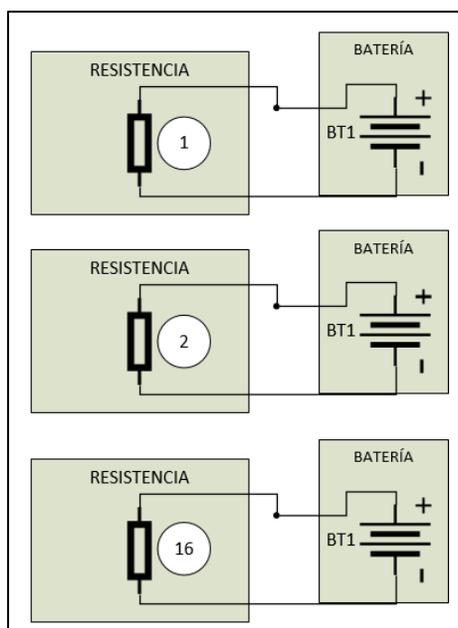


Figura 24. Circuito general de descarga

3.11 Circuito de Ecuación

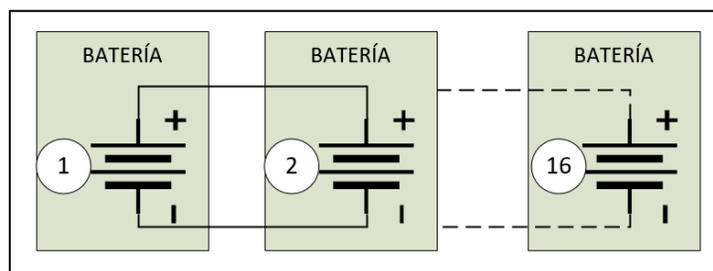


Figura 25. Circuito de Ecuación.

El circuito de ecualización que se muestra en la figura 26, es la conexión en paralelo de todas las baterías, esto con el objetivo de igualar la carga entre todas, ya que en un arreglo de baterías conectadas en serie, si se presentan baterías con distinto valor de voltaje entre unas de otras, produce una diferencia de potencia disipada entre las mismas cuando se encuentren en condición de descarga, teniendo así una mayor potencia disipada en la batería de menor voltaje al poseer una resistencia interna de mayor valor (como se ha mencionado en el numeral 3.7) ocasionando el incremento de temperatura de la misma. Sin embargo la ecualización debe ser realizada con baterías que se encuentren en valores de voltaje aproximados, ya que al ser conectadas en paralelo, las baterías de mayor voltaje “intentan” cargar a las de menor voltaje fluyendo así corriente entre ellas, si la diferencia de voltaje entre baterías es muy marcado, la corriente que circule entre ellas será elevado, es por eso que para la condición de ecualización se requiere que todas las baterías hayan alcanzado su voltaje máximo de carga, para el banco de pruebas se utilizó las barras de cobre figura 27.

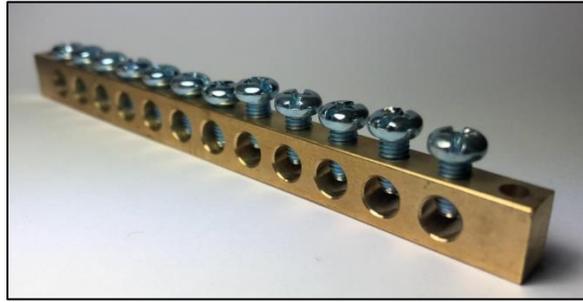


Figura 26. Barras de cobre utilizados para conexión en paralelo de las baterías.

A los cuales se conectan todos los contactos normalmente abiertos de los módulos relé correspondientes a la ecualización.

3.12 Circuito de control

3.12.1 Control de conexión entre circuitos

Para controlar el cambio entre conexiones se optó por el uso de relés debido a que disponen de contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, permitiendo así, mediante una correcta conexión entre relés, conectar las baterías ya sea al circuito de carga, circuito de descarga, o entre ellas independientemente unas de otras, tomando en cuenta que cada uno de los estados antes mencionados requiere de un relé, se necesita de 3 relé conectados específicamente a cada batería para ejecutar dicha operación de conexión entre circuitos como se puede observar en la figura 28, requiriendo también 3 señales independientes por batería para su activación, teniendo así un total de:

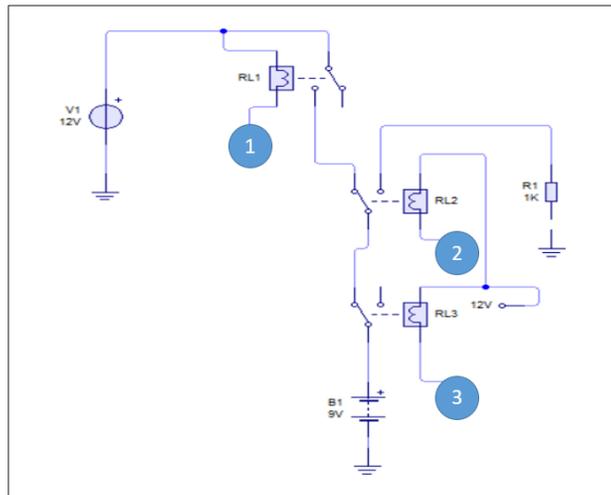


Figura 27. Conexión entre circuitos de carga, descarga y ecualización.

$$\text{Señales necesarias} = 3 * \text{Nbaterías}$$

$$\text{Señales necesarias} = 3 * 16$$

$$\text{Señales necesarias} = 48$$

En el mercado, no existen microcontroladores con esa cantidad de salidas de señales digital en donde el valor de 1 representa un valor de tensión de 5 volts o “activado” y el valor de 0 representa 0 Volt, conexión a masa o “Desactivado”. Por lo que se optó por el uso de registros de desplazamiento figura 29.

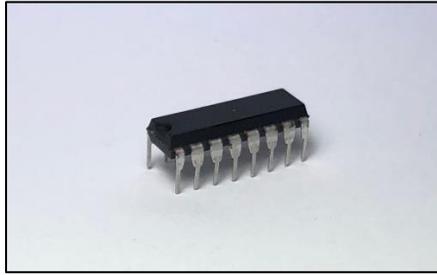


Figura 28 Registro de desplazamiento 74HC595.

Los cuales reciben cierta cantidad de datos transmitidos en serie mediante un pin de salida del microcontrolador y los llevan en orden a pines físicos a los que pueden ser conectados los relés antes mencionados. Con la gran ventaja de que utilizan el BUS SPI (Serial Peripheral Interface) de Arduino en el que pueden ser conectados en cascada permitiendo incrementar el número de pines físicos disponibles. En el mercado existen registros de desplazamiento de 2, 4, 8, y 16 bits (cada bit es un 1 o un 0) siendo los últimos los más difíciles de encontrar por lo que se optó por el uso de dos registros de desplazamiento de 8 bits cuya numeración es 74hc595 para suplir la activación de los relés de conexión de cada una de las baterías a cada circuito de carga correspondiente, de igual forma otros dos registros de desplazamiento para la conexión al circuito de descarga y dos registros más para la activación de los relés de ecualización, sumando en total 6 registros de desplazamiento para controlar las 48 señales requeridas para el control de conexión y desconexión de las baterías a los distintos circuitos.

3.12.2 Mediciones

Para la toma de datos se necesita medir el voltaje y la corriente en cada momento de cada una de las 16 baterías, que al igual que las salidas digitales, no existe un microcontrolador con dicho número de entradas analógicas por lo que se optó por el uso de un multiplexor analógico de 16 a 1 como se puede ver en la figura 33, el cual, mediante un arreglo de activación de 4 pines digitales (S0, S1 S2, S3) escoge que señal de las 16 disponibles enviar por un pin de salida (Pin Z) hacia el microcontrolador. Necesitando entonces para su funcionamiento 4 pines digitales para la selección de la señal que se va a medir y 1 pin analógico para recibir el dato de la señal escogida.

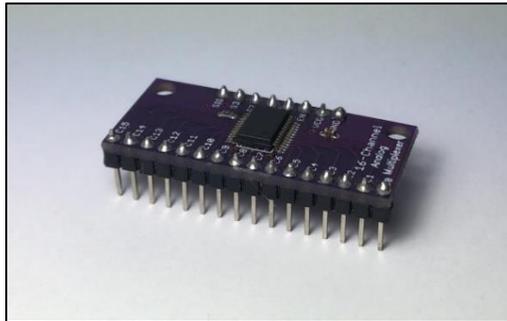


Figura 29. Multiplexor analógico 16 a 1 74HC4067.

El multiplexor analógico escogido es el que posee la numeración de 74HC4067 y responde a la siguiente figura de activación

Inputs					Channel ON
\overline{E}	S3	S2	S1	S0	
L	L	L	L	L	Y0 to Z
L	L	L	L	H	Y1 to Z
L	L	L	H	L	Y2 to Z
L	L	L	H	H	Y3 to Z
L	L	H	L	L	Y4 to Z
L	L	H	L	H	Y5 to Z
L	L	H	H	L	Y6 to Z
L	L	H	H	H	Y7 to Z
L	H	L	L	L	Y8 to Z
L	H	L	L	H	Y9 to Z
L	H	L	H	L	Y10 to Z
L	H	L	H	H	Y11 to Z
L	H	H	L	L	Y12 to Z
L	H	H	L	H	Y13 to Z
L	H	H	H	L	Y14 to Z
L	H	H	H	H	Y15 to Z
H	X	X	X	X	-

[1] H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level;
X = don't care.

Figura 30. Lógica de activación del modulo 74HC4067.

Donde la entrada E, representa el pin Enable, que permite la salida de datos hacia el microcontrolador que va conectado a masa para su funcionamiento, los pines S0, S1, S2 y S3 son los pines digitales que deben estar en cierto estado para poder permitir el paso de determinada señal hacia el Pin Z que va conectado hacia cualquier pin analógico del microcontrolador. Sin embargo, tanto el multiplexor, como el Arduino pueden censar señales analógicas de hasta 5 voltios, es por eso que mediante el uso de un divisor de tensión figura 32 se obtiene una equivalencia de señales medidas.

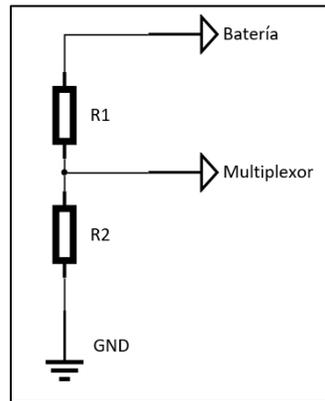


Figura 31. Divisor de tensión utilizado para la toma de datos de voltaje.

Para calcular la relación entre las resistencias, se procede a asignar datos a los valores de voltaje, siendo el valor máximo de voltaje para $V_{\text{multiplexor}}$ de 5V y como valor máximo para $V_{\text{batería}}$ de 30 V esto con el objetivo de asegurar que no se sobrepasará el valor de 5V en el divisor, reemplazando se obtiene.

$$V_{\text{Multiplexor}}(V) = V_{\text{Batería}}(V) * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$5 = 30 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 + R_2 = 6 * R_2$$

$$R_1 = 5 * R_2$$

Donde los valores de las resistencias pueden tomar cualquier valor, pero cumpliendo la relación de que la resistencia 1 debe ser 5 veces el valor la resistencia 2. Se utilizó para R2 una resistencia de 1 MOhm y para R1 dos resistencias de 10MOhm conectadas en paralelo, para que el divisor no interfiera en medidas de señales o

represente un consumo de corriente tanto para las fuentes de corriente como para la batería se lo realiza con resistencias que van por el orden de los MegaOhms.

3.12.3 Control de fuentes de corriente

Como se mencionó en el numeral 3.6.1 las fuentes de corriente pueden ajustar su valor de corriente entre 0 y 5 amperios mediante el uso de un potenciómetro de 10 KOhm de forma manual, sin embargo, para poder ser controladas mediante el computador se optó por remover dicho potenciómetro reemplazándolo por pines de conexión como se puede apreciar en la figura 33.

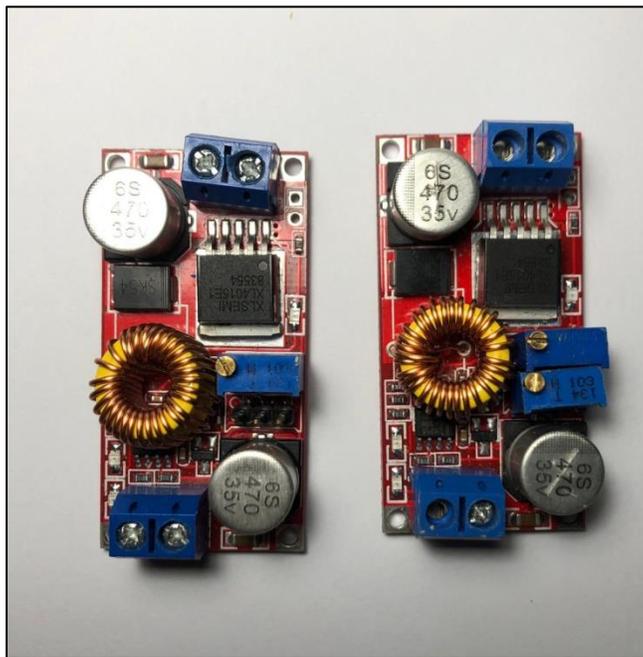


Figura 32. Módulos de corriente sin modificar (Derecha) modificado (Izquierda).

De esta forma se consigue reemplazar el potenciómetro manual de ajuste de corriente de las placas por uno digital el cual puede ser controlado por el microcontrolador asignando valores numéricos que van desde 0 hasta 255 para la

resistencia mínima y máxima respectivamente, los potenciómetros digitales se encuentran disponibles en versiones simples y dobles, es decir uno o dos potenciómetros en un solo chip, siendo la ventaja de estos últimos que se pueden conectar en cascada para incrementar el número de potenciómetros a controlar y adicionalmente pueden conectarse al BUS SPI de Arduino, por lo que se ha escogido los potenciómetros de numeración MCP42010 que se encuentran disponibles en valores de 10KOhm, 50KOhm y 100 KOhm como se puede apreciar en la figura 34.

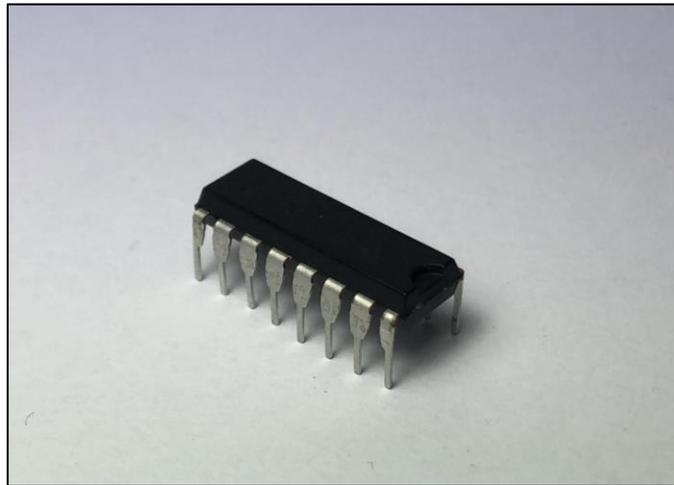


Figura 33. Potenciómetro digital 2 en 1 MCP42010.

Que responden a una curva de funcionamiento que es lineal para cada valor de 0 a 255, como lo indica la figura 35.

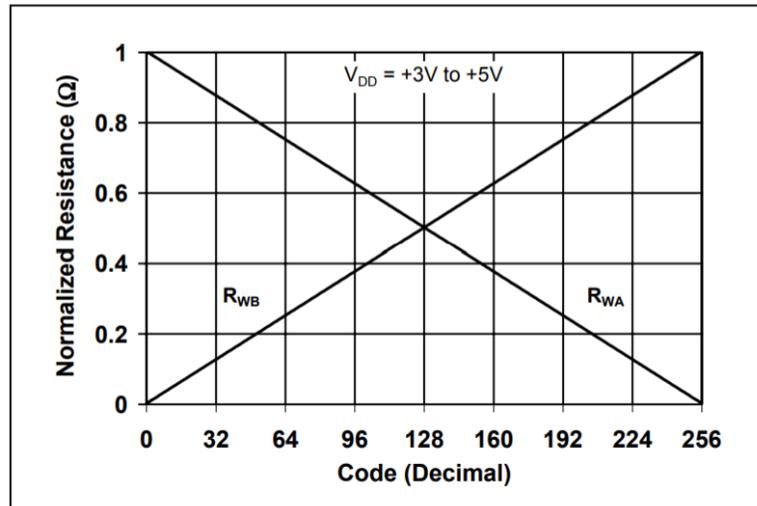


Figura 34. Curva de respuesta de los potenciómetros digitales

Fuente: Microchip.com

De esta forma, se suple dos aspectos para el banco de pruebas, que es el ajuste de corriente constante y la medición de corriente que circula por el circuito de carga, esto mediante una relación entre amperios y el valor ingresado a cada potenciómetro obteniendo así una curva (también lineal) que relaciona ambos valores, se obtiene dos puntos en dos distintas condiciones de funcionamiento, en donde el eje X es el valor digital comprendido entre 0 y 256 y el eje Y es el valor en amperios que circula por la fuente obteniendo así.

$$P1 (255 ; 5.1)$$

$$P2 (0 ; 0)$$

Se procede a calcular la ecuación de la recta generada por los dos puntos, donde la pendiente es igual a:

$$m = \frac{5.1 - 0}{255 - 0} = 0.02$$

Reemplazando en la ecuación general de la recta

$$Y - Y_1 = m * (X - X_1)$$

Ecuación 9. Ecuación general de la recta.

$$Y - 0 = 0.02 * (X)$$

$$Y = 0.02 * (X)$$

Siendo el valor de Y los valores de amperios (A) que se ajustan en el banco de pruebas, en función de X que son los valores digitales de 0 a 255.

3.12.4 Placa Arduino y BUS SPI

Toda placa de Arduino disponible en el mercado posee el BUS SPI y debido a que el control de los módulos relé de conexión entre circuitos y el control de los módulos de corriente se los realizó mediante este BUS de datos que necesita 2 pines para su funcionamiento, además con el uso del multiplexor analógico para la toma de mediciones, en total se requiere:

Tabla 9.
Requerimientos del microcontrolador.

Requerimientos	Detalle de pines
BUS SPI	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de reloj: PIN SDK • Señal de datos: PIN MOSI • Señal de activación: PIN LATCH
Multiplexor analógico	<ul style="list-style-type: none"> • Señales digitales de activación: 4 pines digitales • Toma de señal analógico: 1 pin analógico
Total	8 pines en la placa del microcontrolador

Como se muestra en la tabla 9 los pines físicos necesarios son 8 y se seleccionó la placa Arduino nano figura 36 al poseer 8 pines analógicos, 8 pines digitales y la posibilidad del uso del BUS SPI como lo indica la figura 47.

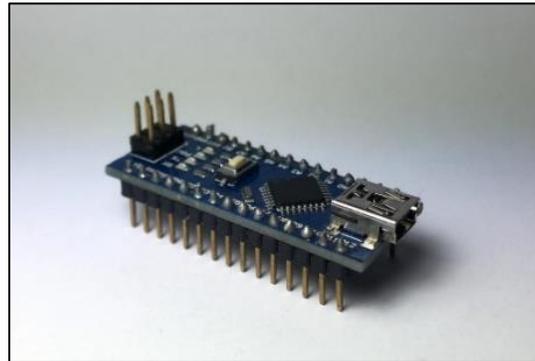


Figura 35. Arduino Nano

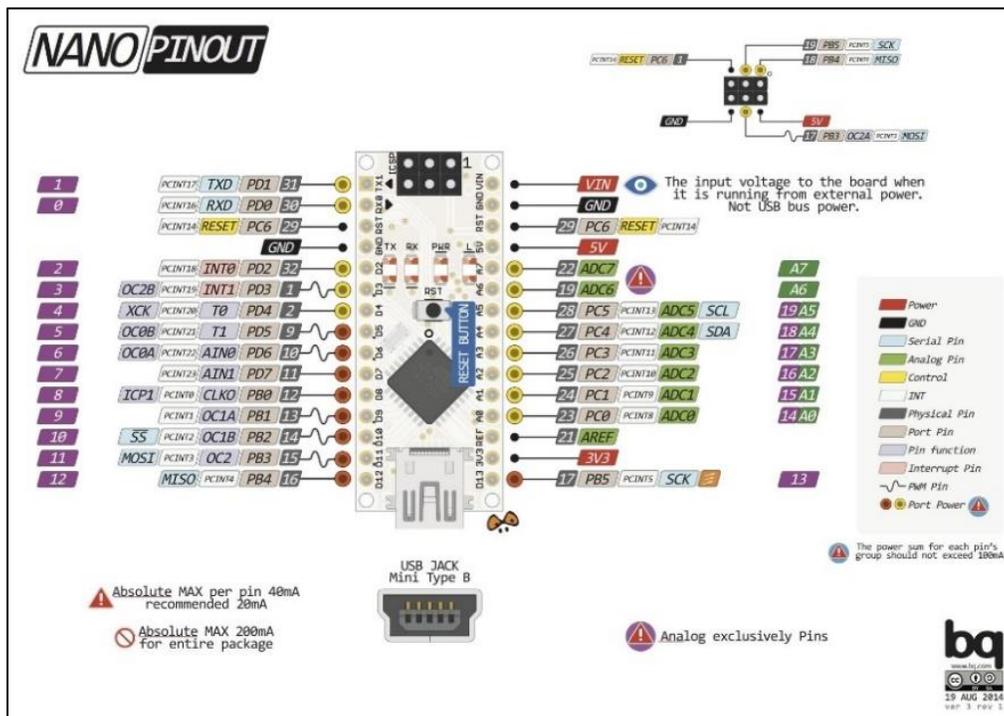


Figura 36. PinOUT de Arduino Nano

Fuente: Arduino.cc

3.13 Diseño de placas electrónicas

Las placas fueron diseñadas utilizando el programa Proteus en su interfaz ISIS y ARES, los cuales sirvieron para el modelado e impresión de las distintas placas electrónicas, que se dividen en 3 tipos que se detallan a continuación.

3.13.1 Placa de control general

Es la placa en donde se monta el multiplexor analógico, divisores de tensión para toma de datos, bornera de conexión hacia cada batería, bornera del BUS SPI y el Arduino Nano como se observa en la figura 38.

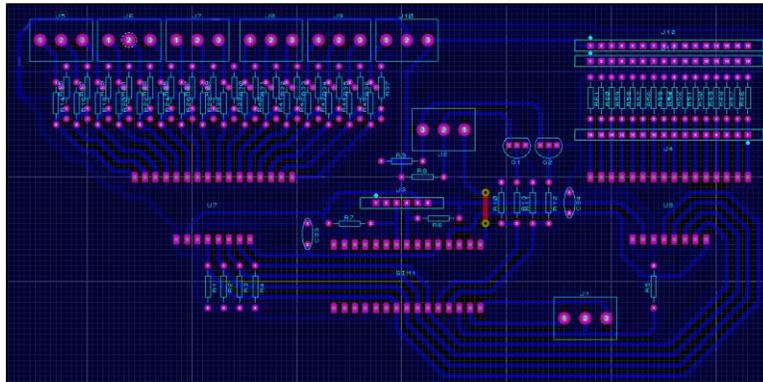


Figura 37. PCB de la placa de control general.

3.13.2 Placa de control de módulos Relé

Poseen borneras de entrada y de salida, que sirven para la conexión del BUS SPI en cascada para las siguientes placas (figura 39), en total son 3 placas de control de módulos relé.

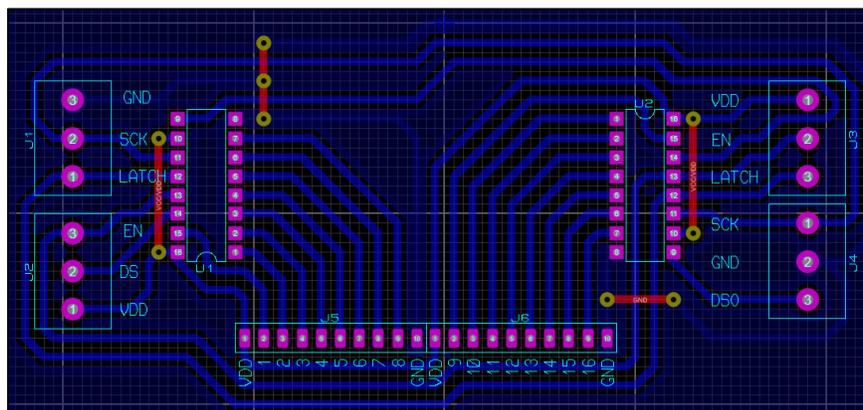


Figura 38. PCB de la placa de control de los módulos relé

3.13.3 Placa de control de fuentes de corriente

Al igual que las placas de control de módulos relé, estas placas poseen borneras de entrada como de salida para los cables necesarios en la conexión del BUS SPI, cada placa puede controlar 4 fuentes de corriente, teniendo así un total de 4 placas de control.

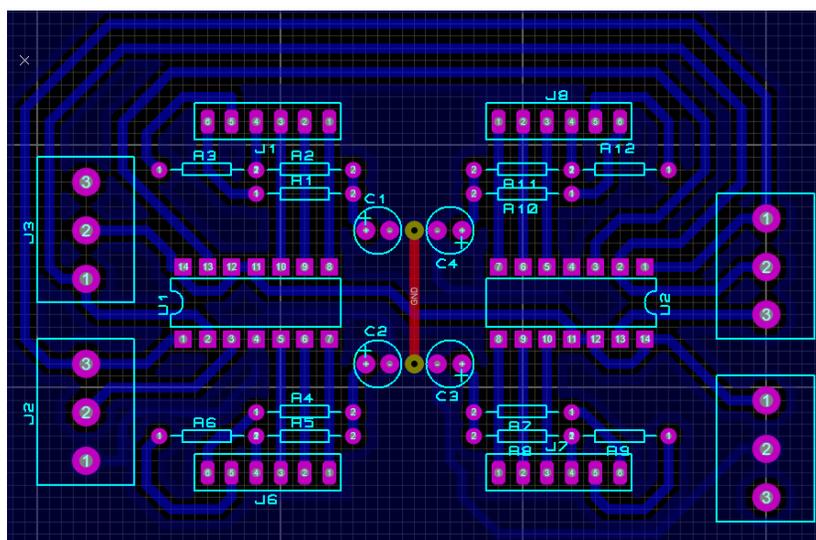


Figura 39. PCB de la placa de control de las fuentes de corriente.

3.14 Programación en Labview

Para la interfaz de usuario se utilizó el programa Labview en su versión profesional 2017, una de sus extensiones de nombre VISA, que permite la comunicación por el puerto serie entre el computador y el Arduino y la extensión MakerHub que hace posible la comunicación entre ambos lenguajes de programación (Arduino y código G), la interfaz cuenta con 3 pantallas donde se puede desplazar el usuario, siendo la primera el menú principal donde se ajustan los parámetros de funcionamiento del banco de pruebas con opciones de valor de corriente a cargar, porcentaje de carga a corriente constante, tiempos de espera, entre otros, la siguiente pantalla llamada Procesos generales permite monitorear lo que sucede en las 16 baterías disponibles y finalmente la pantalla Procesos individuales donde se muestran gráficos de resistencia, voltaje y corriente que circula para cada batería, además la interfaz de usuario permite obtener imágenes de lo que se muestra en pantalla y guardarlos en formato .jpg para su posterior análisis.



Figura 40. Página principal de la interfaz de usuario diseñada en Labview.

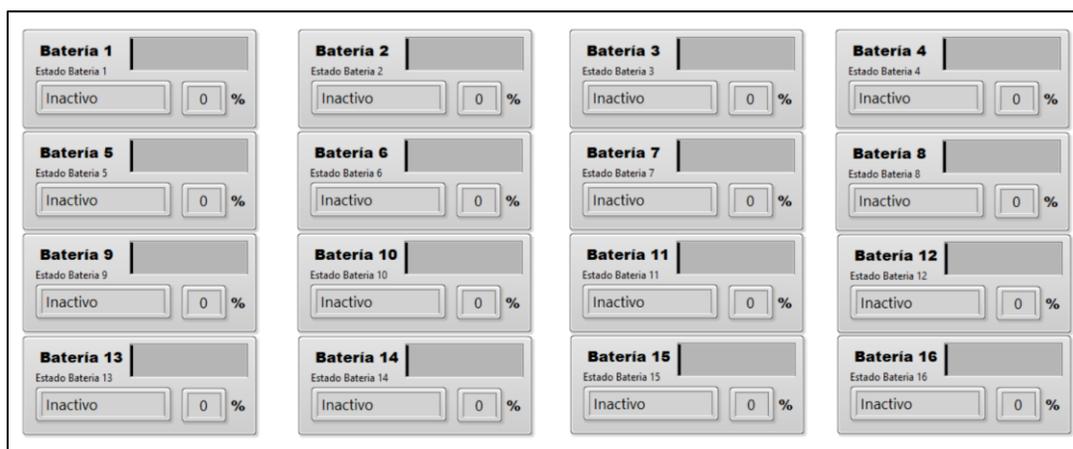


Figura 41. Página "Procesos generales" de la interfaz de usuario.

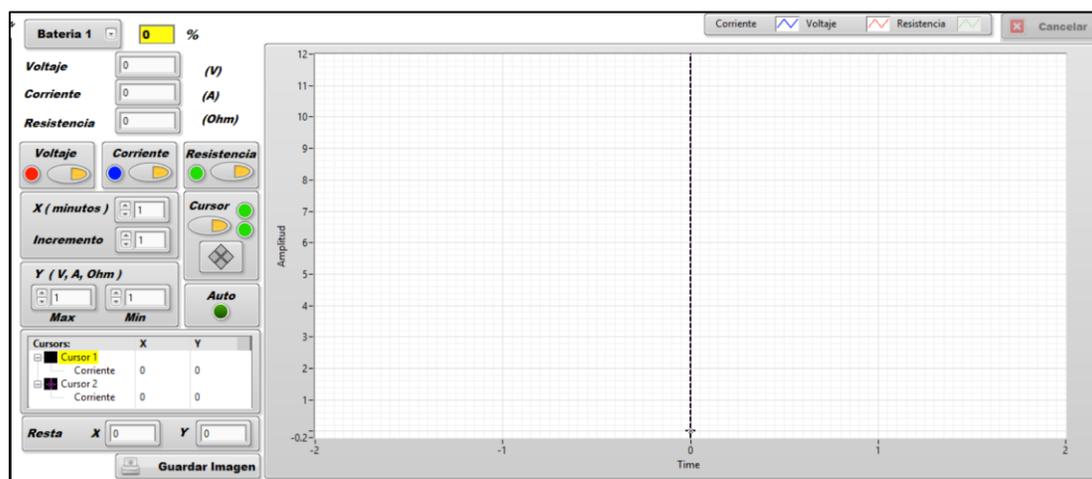


Figura 42. Página "Procesos Individuales" de la interfaz de usuario.

CAPÍTULO IV

PROTOCOLO DE PRUEBAS

4.1 Algoritmo de carga

Es el método con el que el cargador restituye la carga de la batería. Las diferentes técnicas de control de voltaje y el manejo de la cantidad de corriente que se suministra, dependen del diseño del cargador, a continuación, se detalla el algoritmo utilizado.

4.1.1 Algoritmo de 3 etapas

El proceso de carga de una batería por este algoritmo consta de 3 etapas las cuales son:

a. Etapa 1 o de carga rápida.

Al inicio del ciclo de carga, el cargador alcanza el 90 % del voltaje nominal, pero al estar la batería descargada la corriente intentará aumentar rápidamente debiendo ser limitada por el cargador, es decir en esta etapa se carga a corriente constante, para este caso se varió el valor de la corriente para motivos de ensayo. Por lo que en esta etapa el voltaje de carga aumenta lentamente mientras la corriente permanece constante.

b. Etapa 2 o carga lenta.

Una vez superado el 90 % del voltaje nominal, automáticamente se activa la carga lenta, en la cual el cargador suministra corriente constante a la batería hasta

llegar al 120% de su capacidad, manteniendo la corriente constante el voltaje aumenta lentamente, y se realiza una carga lenta.

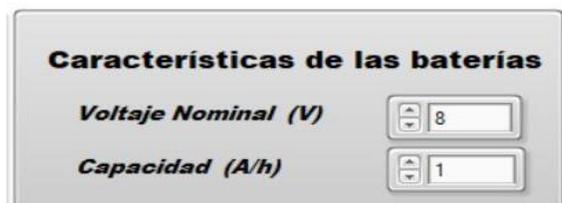
c. Etapa de reposo

Cuando la batería ha llegado al 120% de su capacidad, la batería absorbe la corriente que ella necesite para permanecer en el 120 % de su capacidad.

4.2 Proceso de mantenimiento

Para la ejecución de este proceso, se utiliza:

- Banco carga-descarga.
 - Laptop.
 - Packs batería.
 - Cables tipo lagarto banana.
1. Encender el computador y conectar mediante puerto USB al banco.
 2. Encender el banco.
 3. Ingresar al programa.
 4. Ingresar los datos característicos de la batería, se detallan en la siguiente imagen.



The image shows a software window titled "Características de las baterías". It contains two input fields with up and down arrows. The first field is labeled "Voltaje Nominal (V)" and contains the number "8". The second field is labeled "Capacidad (A/h)" and contains the number "1".

Figura 43. Características de la batería.

5. Se ingresa los datos del tipo de mantenimiento que se requiere, se detalla en la siguiente imagen.

Parámetros de funcionamiento	
Amperaje de carga (A)	2.5
Número de ciclos	3
Porcentaje de carga a corriente constante (%)	30
T. Espera de carga (min)	0
T. Espera de descarga (min)	0
T. Espera de ecualización (min)	0

Figura 44. Características de la batería

6. Se selecciona la opción mantenimiento para inicializar el mantenimiento con las características antes ingresadas.



Figura 45. Procesos del Cargador.

7. El proceso inicia y se puede censar los valores de voltaje, corriente y resistencia durante todo el proceso.



Figura 46. Voltímetro.

8. Además, se visualiza gráficamente en tiempo real los valores de voltaje, corriente y resistencia durante todo el proceso.

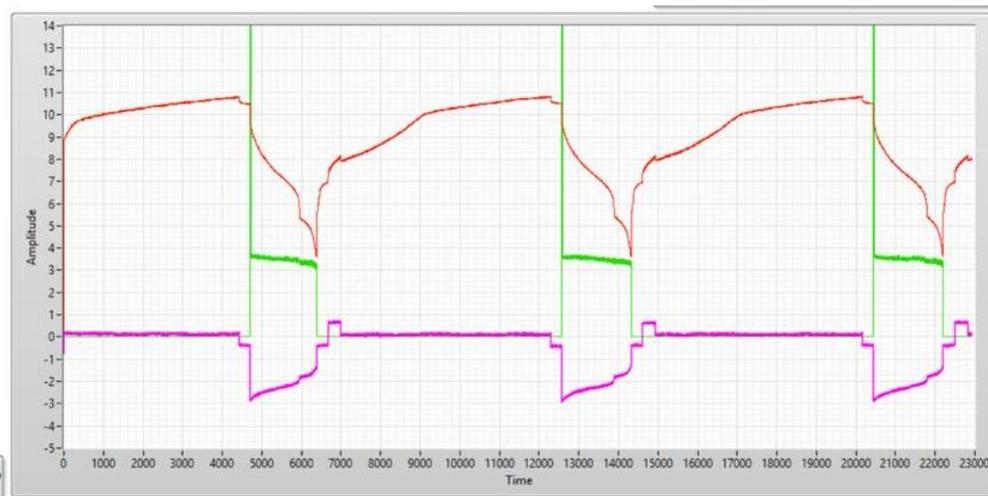


Figura 47. Graficas voltaje, corriente y resistencia.

4.3 Mantenimiento en 3 ciclos (primer ensayo)

Para motivos de estudio, se varió los parámetros de carga y se selecciona el que brinde mejores resultados.

Todas las cargas de este mantenimiento se realizaron con los siguientes parámetros de carga:

Tabla 10.
Parámetros de carga primer ensayo.

	Hasta el 90% del: $V_{nominal}$	Del 90% al 120% del: $V_{nominal}$	El voltaje nominal permanece constante durante 4 minutos
C_{carga} A	1	0,5	Corriente variable

4.3.1 Primer ciclo

a. Primera carga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 7,15 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 31,43 minutos.

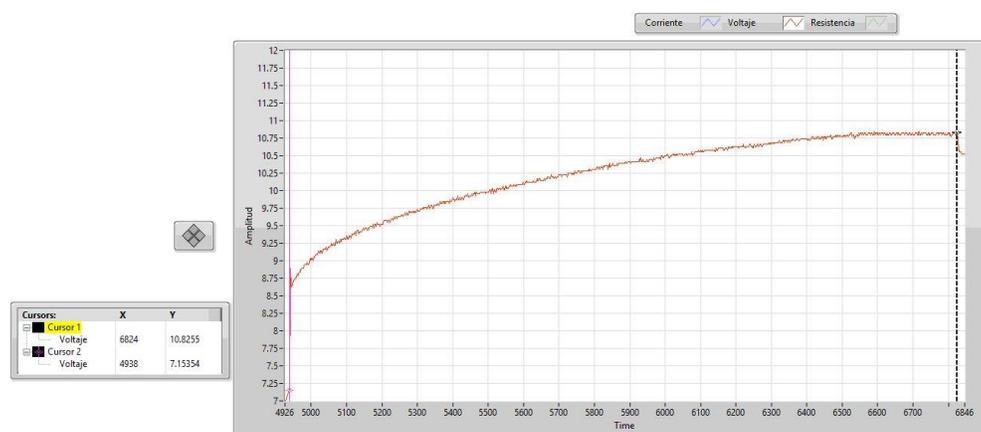


Figura 48. Voltaje primera carga, primer ensayo.

La figura 49 muestra el comportamiento de la batería bajo los siguientes parámetros carga, mostrando en la primera etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 90% de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga al 0,1 de la capacidad de la batería que para este caso es de 0,5 A constantes hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería es decir hasta alcanzar los 10,8 V, luego la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V por un tiempo de 4 minutos.

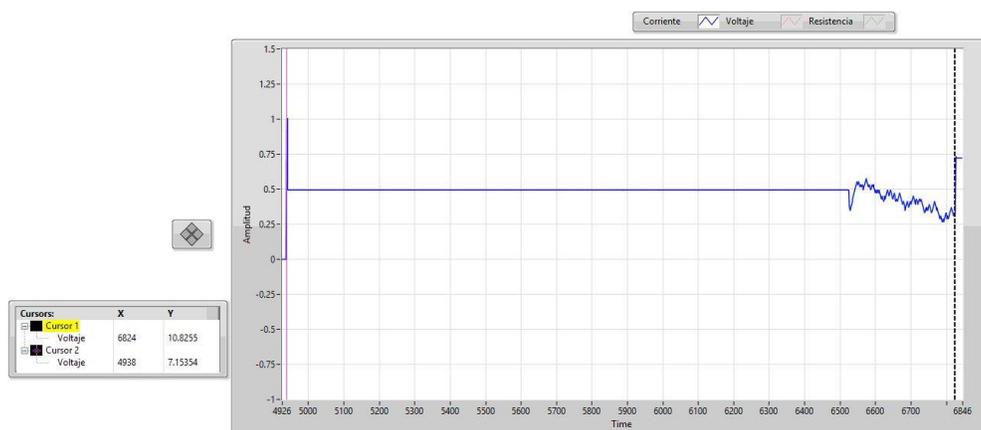


Figura 49. Corriente primera carga, primer ensayo.

b. Primer descarga

El voltaje versus tiempo mostrado en la figura 50 de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 52,6 minutos.

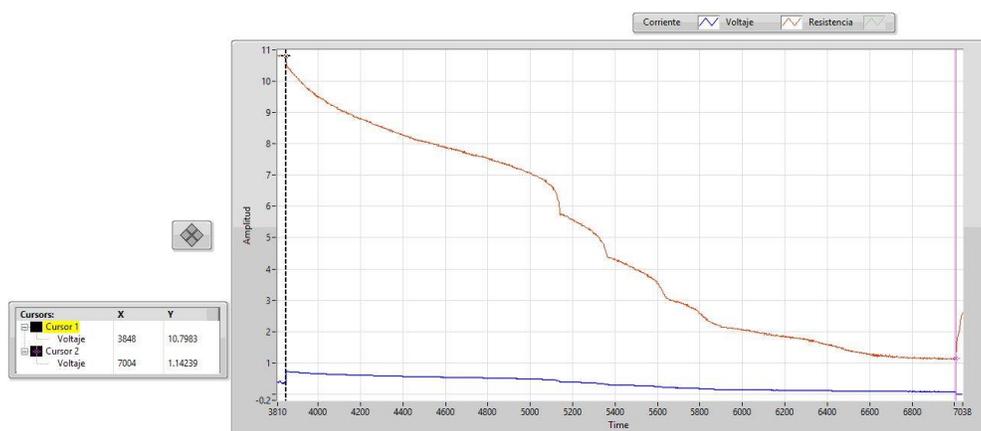


Figura 50. Voltaje primera descarga, primer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente de descarga a lo largo del tiempo durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 52,6 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

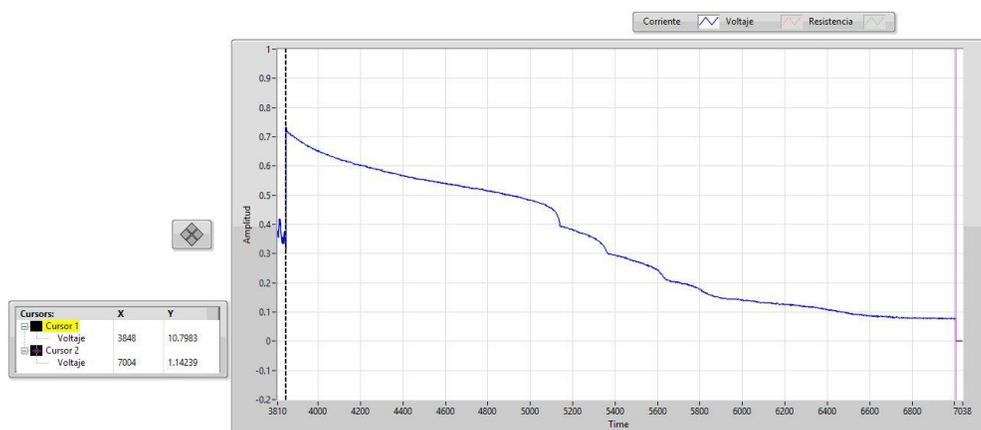


Figura 51. Corriente primera descarga, primer ensayo.

4.3.2 Segundo ciclo

a. Segunda carga

En la figura 52 se visualiza el voltaje en función de tiempo del proceso de la segunda carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 3,61 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 35,46 minutos, siendo este sometido a una carga de tres etapas de las cuales dos son a corriente constante y una tercera etapa de corriente variable.

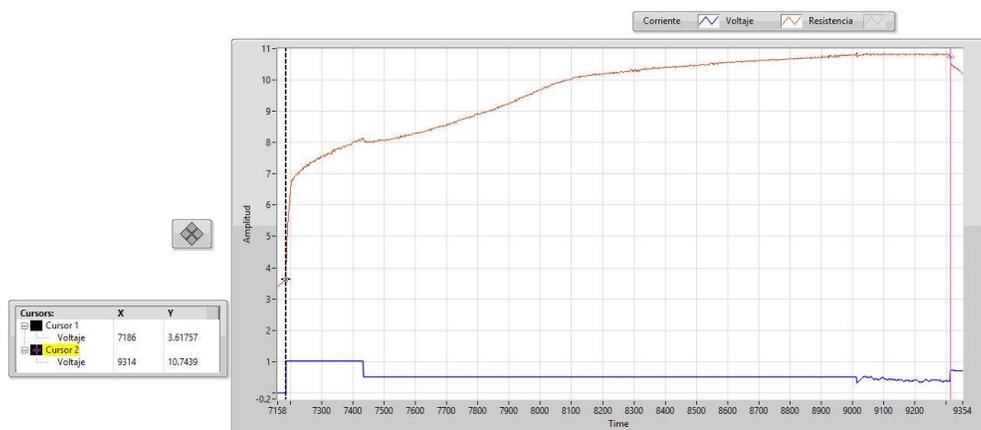


Figura 52. Voltaje segunda carga, primer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 90% de la capacidad nominal de la batería para la segunda carga notamos un incremento en el tiempo de carga a 1 A constante, seguido de eso una carga de 0,5 A constantes hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería es decir

hasta alcanzar los 10,8 V, luego la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V por un tiempo de 4 minutos, todo el proceso de carga en 3 etapas dura 35,46 minutos.

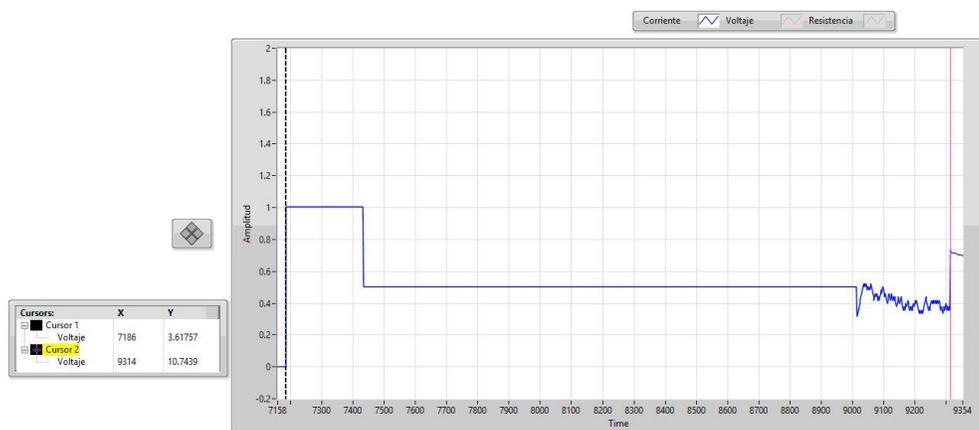


Figura 53. Corriente segunda caga, primer ensayo.

a. Segunda descarga

Los valores obtenidos en el proceso de la segunda descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 50,3 minutos, mostrados en la figura 54.

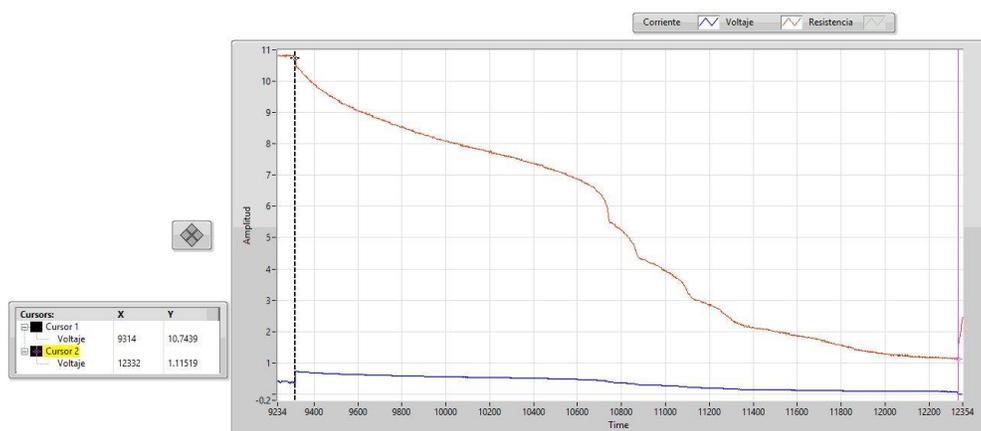


Figura 54. Voltaje segunda descarga, primer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente de descarga del segundo proceso a lo largo del tiempo, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 50,3 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

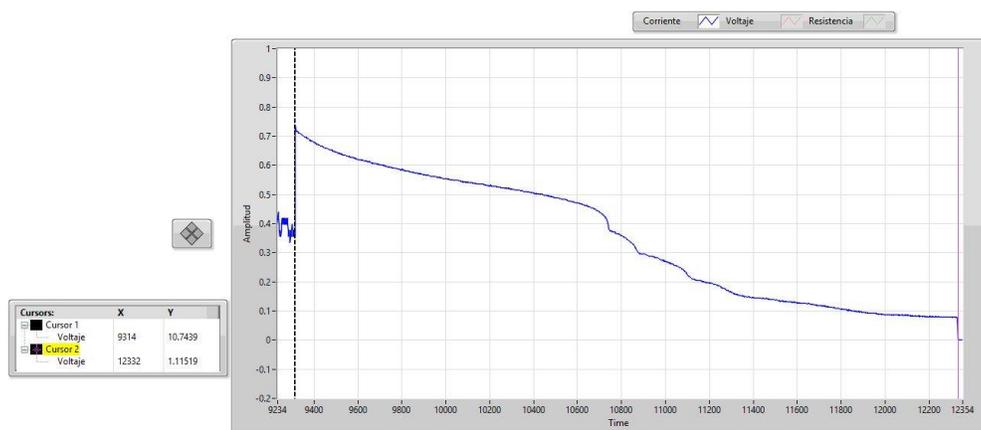


Figura 55. Corriente segunda descarga, primer ensayo.

4.3.3 Tercer ciclo

a. Tercera carga

En la curva de color rojo se muestra el voltaje en función de tiempo del proceso de la tercera carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 3,75 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 35,86 minutos, siendo este sometido a una carga de tres etapas de las cuales dos son a corriente constante y una tercera etapa de corriente variable.

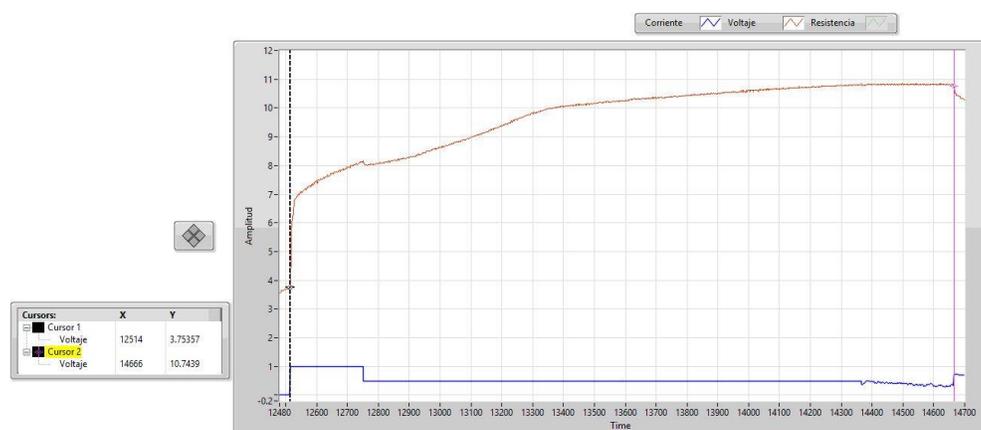


Figura 56. Voltaje tercera carga, primer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de la tercera carga, mostrando en la primera etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 90% de la capacidad nominal de la batería para la tercera carga notamos una forma de onda muy similar a la primera carga, seguido de eso una carga de 0,5 A constantes hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería es

decir hasta alcanzar los 10,8 V, luego la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V por un tiempo de 4 minutos, todo el proceso de carga en 3 etapas dura 35,86 minutos.



Figura 57. Corriente tercera carga, primer ensayo.

b. Tercera descarga

Se visualiza el voltaje en función de tiempo del proceso de la tercera descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 52 minutos, se nota una disminución de 36 segundos en el tiempo de descarga con respecto a la primera descarga.

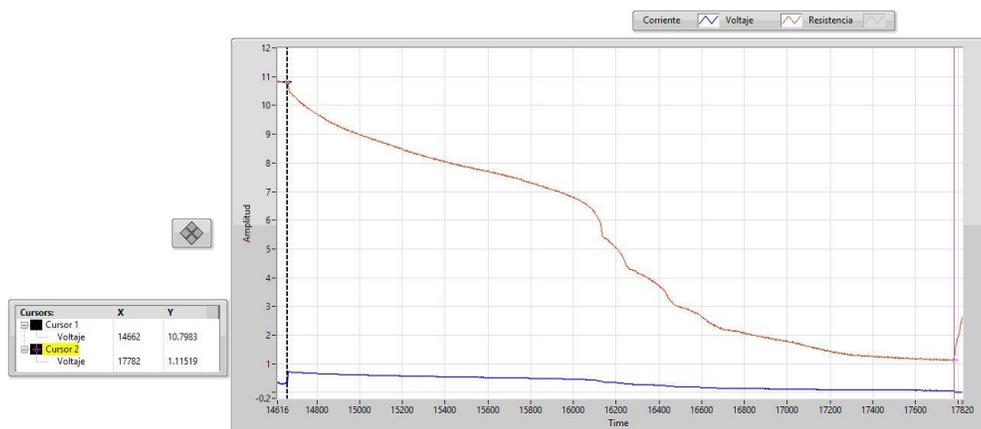


Figura 58. Voltaje tercera descarga, primer ensayo.

En la curva podemos observar el comportamiento de la corriente de descarga del tercer proceso a lo largo del tiempo, durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 52 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

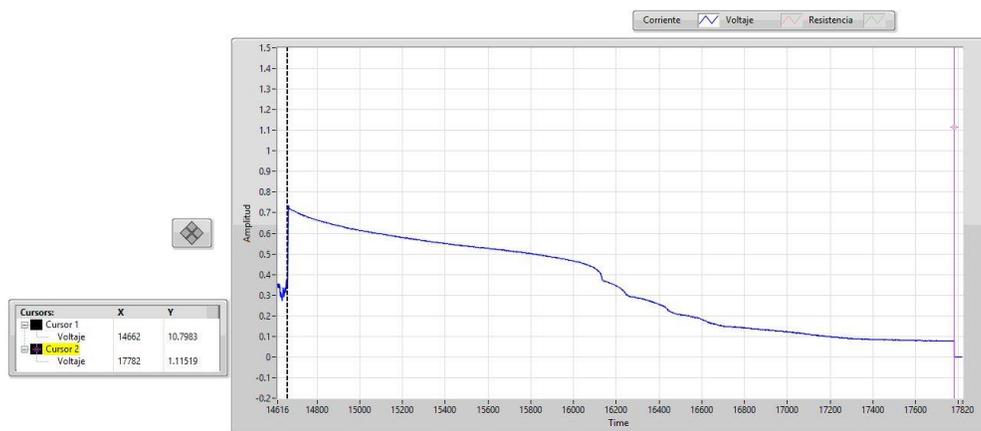


Figura 59. Corriente tercera descarga, primer ensayo.

4.4 Mantenimiento en 3 ciclos (segundo ensayo)

Todas las cargas de este mantenimiento se realizaron con los siguientes parámetros de carga:

Tabla 11.

Parámetros de carga segundo ensayo.

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	La batería absorbe corriente de carga hasta que la misma tienda a cero.
C_{carga} A	2	2	Corriente variable

4.4.1 Primer ciclo

a. Primera carga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 7,12 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 107,35 minutos.

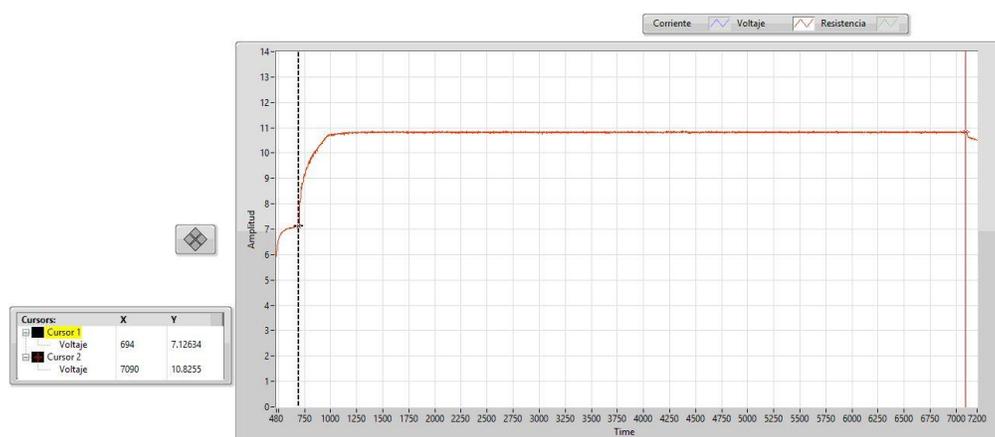


Figura 60. Voltaje primera carga, segundo ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera etapa una carga a 2 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V hasta que la corriente requerida por la batería tienda a 0.

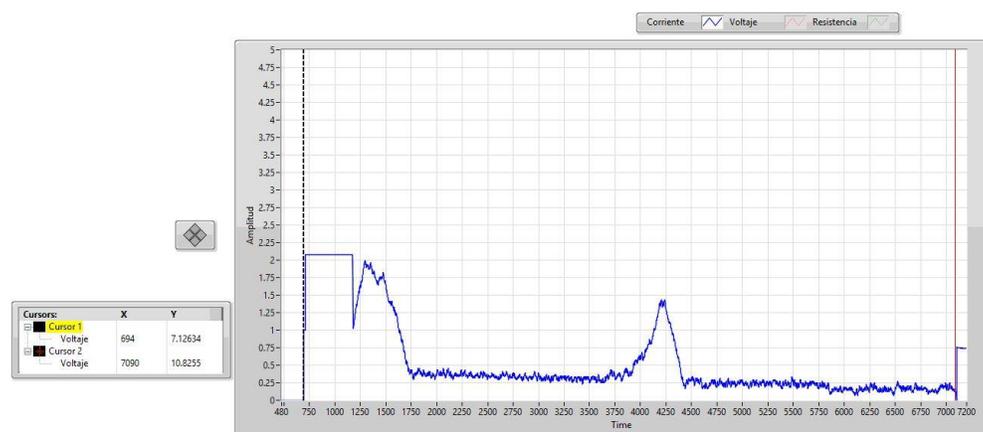


Figura 61. Corriente primera carga, segundo ensayo.

b. Primer descarga

La Figura 62 muestra el tiempo en el eje de las abscisas y en el eje y el valor de voltaje en (V) del proceso de descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 78,5 minutos.

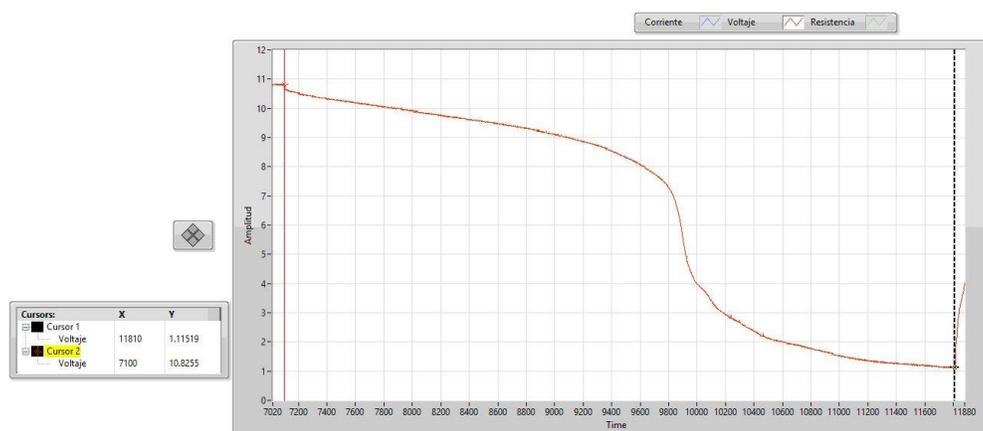


Figura 62. Voltaje primera descarga, segundo ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente de descarga a lo largo del tiempo durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 78,5 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

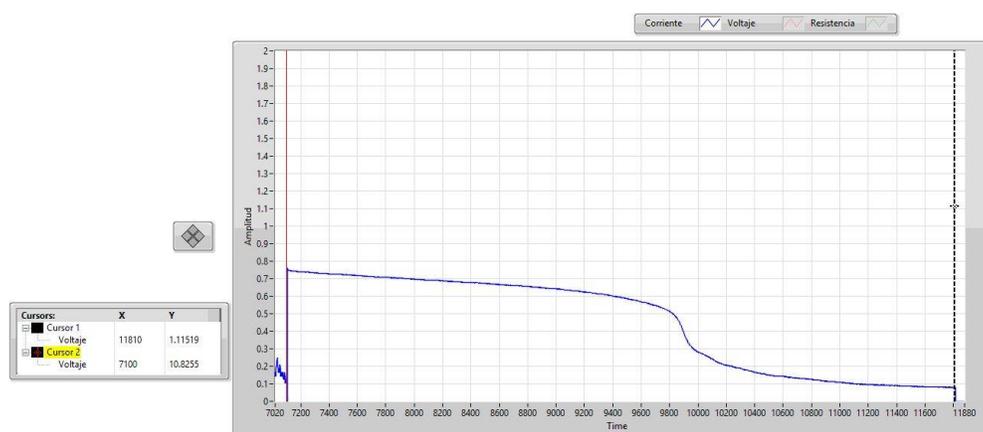


Figura 63. Corriente primera descarga, segundo ensayo.

4.4.2 Segundo ciclo

a. Segunda carga

En la figura 64 se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de la segunda carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 7,18 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 102,26 minutos.

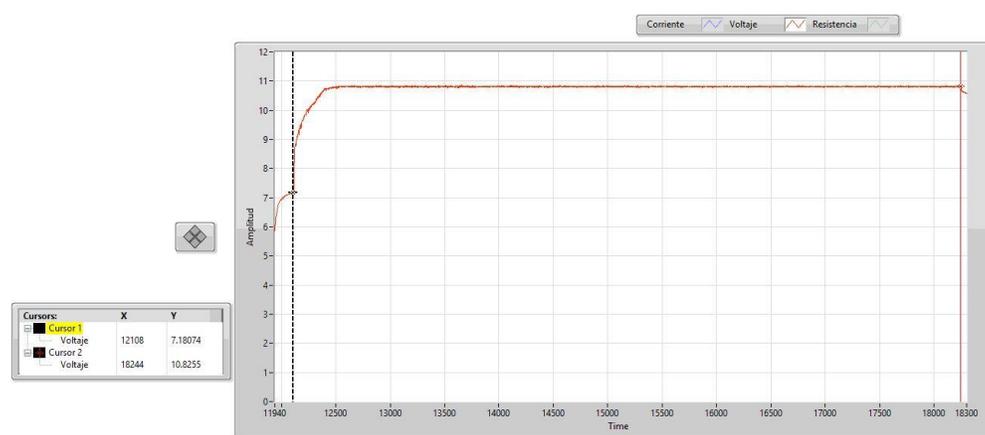


Figura 64. Voltaje segunda carga, segundo ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera etapa una carga a 2 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V hasta que la corriente requerida por la batería tienda a 0, en un tiempo de carga de 102,26.

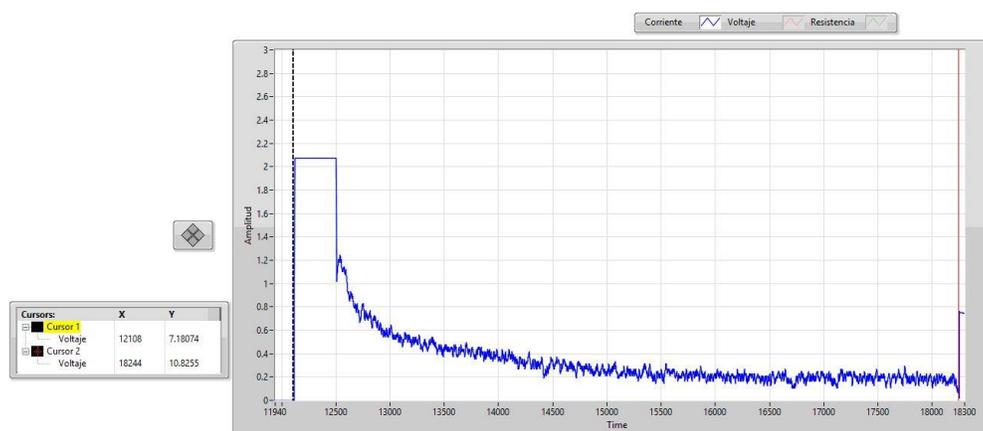


Figura 65. Corriente segunda carga, segundo ensayo.

c. Segunda descarga

La figura 66 muestra el proceso de la segunda descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 85,06 minutos se nota un incremento de 6,56 minutos con respecto a la primera descarga.

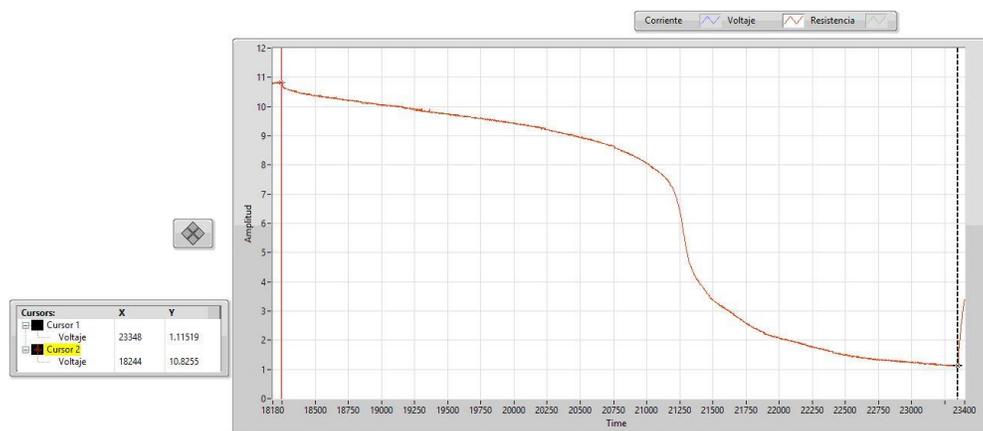


Figura 66. Voltaje segunda descarga, segundo ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente de descarga del segundo proceso a lo largo del tiempo, durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 85,06 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

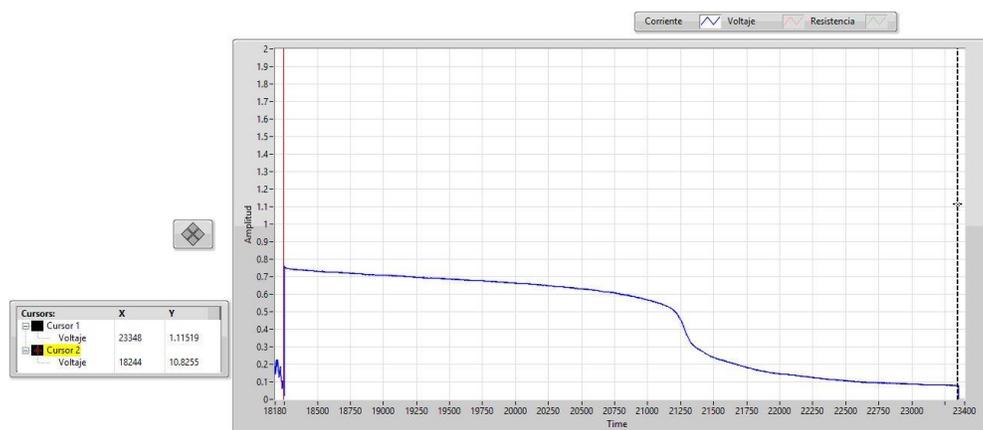


Figura 67. Corriente segunda descarga, segundo ensayo.

4.4.3 Tercer ciclo

a. Tercera carga

La figura 68 permite visualizar el voltaje en función de tiempo del proceso de la tercera carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 7,20 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 83,86 minutos.

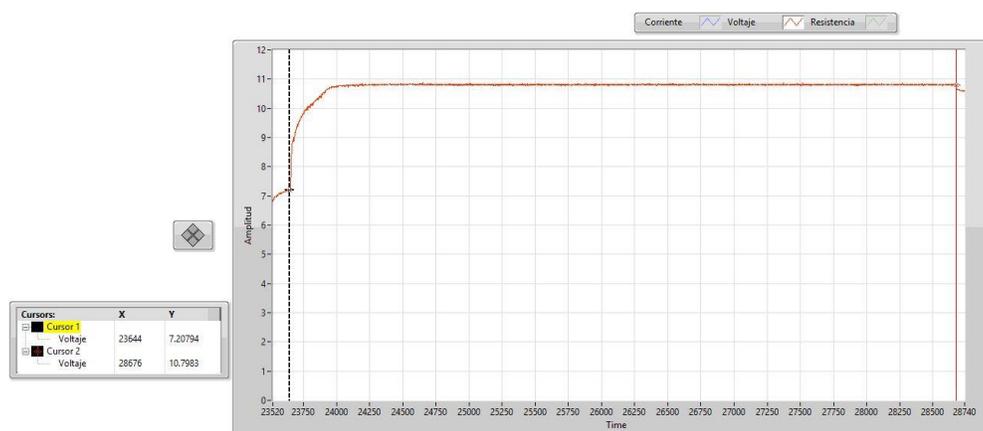


Figura 68. Voltaje tercera carga, segundo ensayo..

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera etapa una carga a 2 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería requiere corriente variable para mantener constante los 10,8 V hasta que la corriente requerida por la batería tienda a 0.

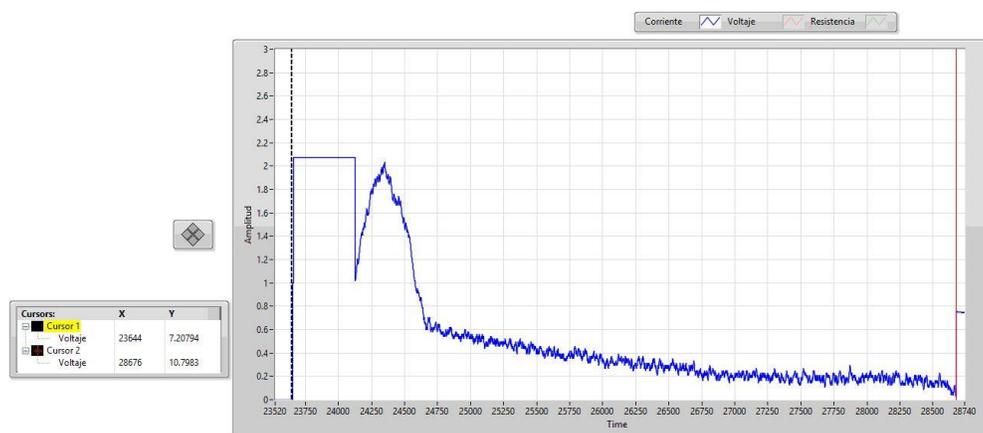


Figura 69. Corriente tercera carga, segundo ensayo.

b. Tercera descarga

La figura 70 muestra el voltaje en el eje de las abscisas el tiempo y en el eje y el valor del voltaje en V del proceso de la tercera descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 84 minutos se nota un incremento de 5,5 minutos con respecto a la primera descarga.

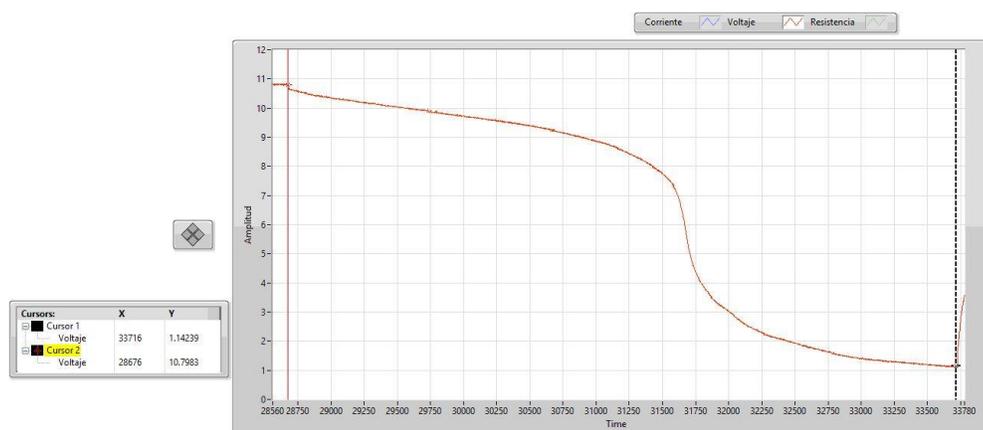


Figura 70. Voltaje tercera descarga, segundo ensayo.

En la curva podemos observar el comportamiento de la corriente de descarga del tercer proceso a lo largo del tiempo, durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 84 minutos, siendo la descarga a corriente variable.



Figura 71. Corriente tercera descarga, segundo ensayo

4.5 Mantenimiento en 3 ciclos (tercer ensayo)

Todas las cargas de este mantenimiento se realizaron con los siguientes parámetros de carga:

Tabla 12.

Parámetros de carga tercer ensayo.

	Hasta el 90 % $V_{nominal}$	Del 90% hasta el 120% del: $V_{nominal}$	Durante 4 minutos después del 120 %
C_{carga} A	1	1	1

4.5.1 Primer ciclo

a. Primera carga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 1,93 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 14 minutos.

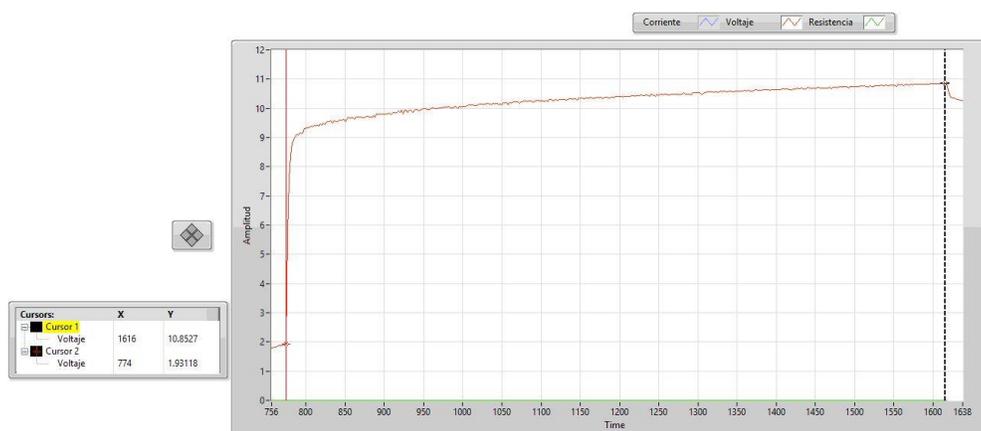


Figura 72. Voltaje primera carga, tercer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera y segunda etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería es cargada a corriente constante de 1 A durante 4 minutos.

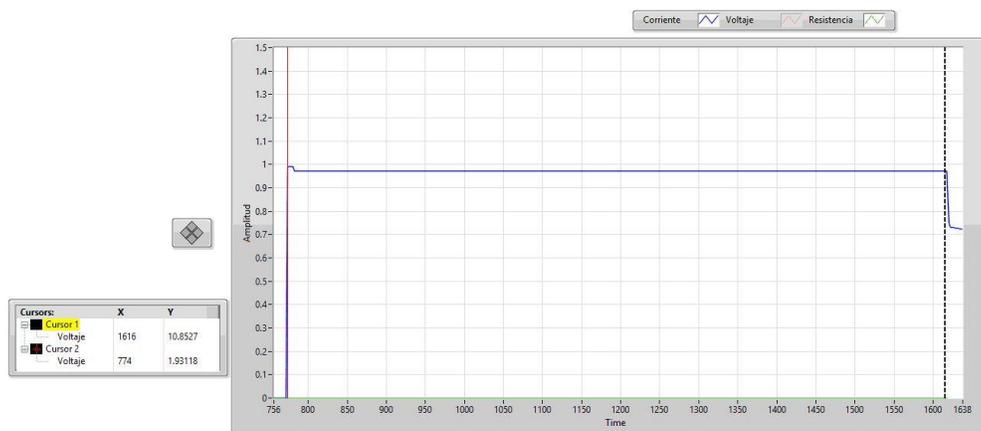


Figura 73. Corriente primera carga, tercer ensayo.

b. Primer descarga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 51,36 minutos.

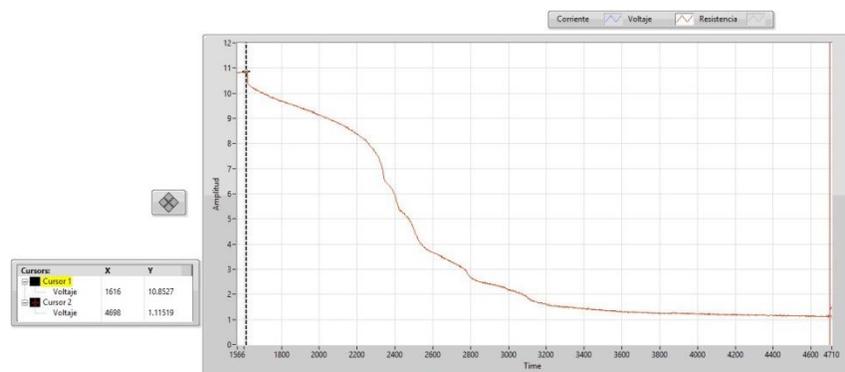


Figura 74. Voltaje primera descarga, tercer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente de descarga a lo largo del tiempo durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 51,36 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

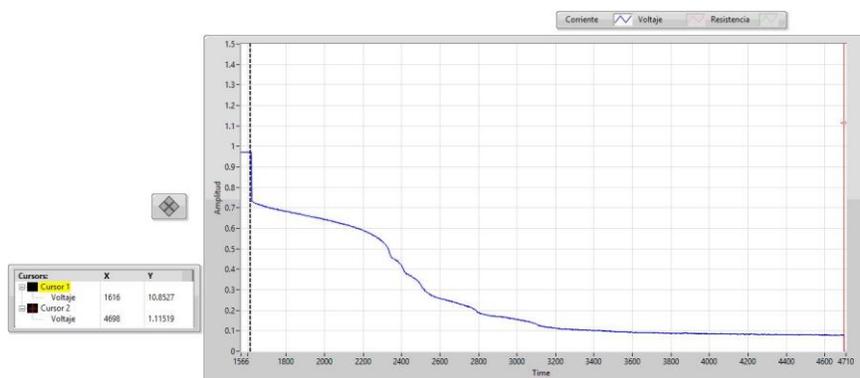


Figura 75. Corriente primera descarga, tercer ensayo.

4.5.2 Segundo ciclo

a. Segunda carga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de la segunda carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 1,84 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 14,36 minutos.

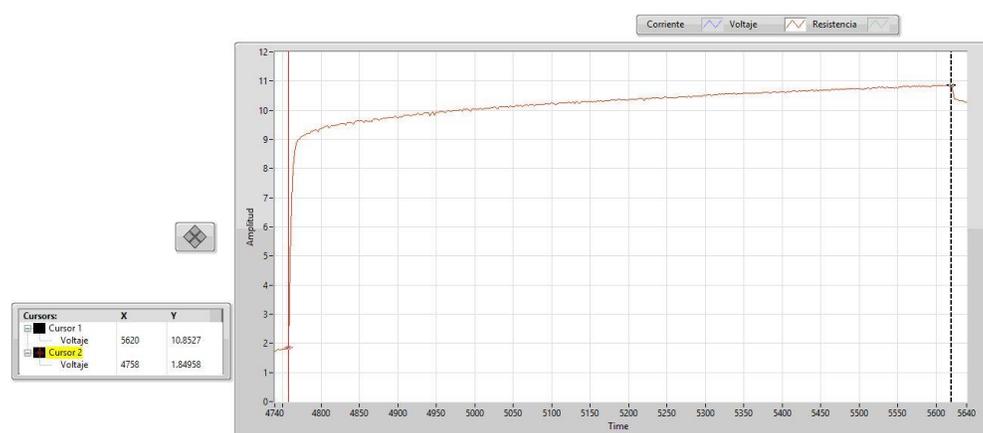


Figura 76. Voltaje segunda carga, tercer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera y segunda etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería recibe 1 A constante durante 4 minutos.

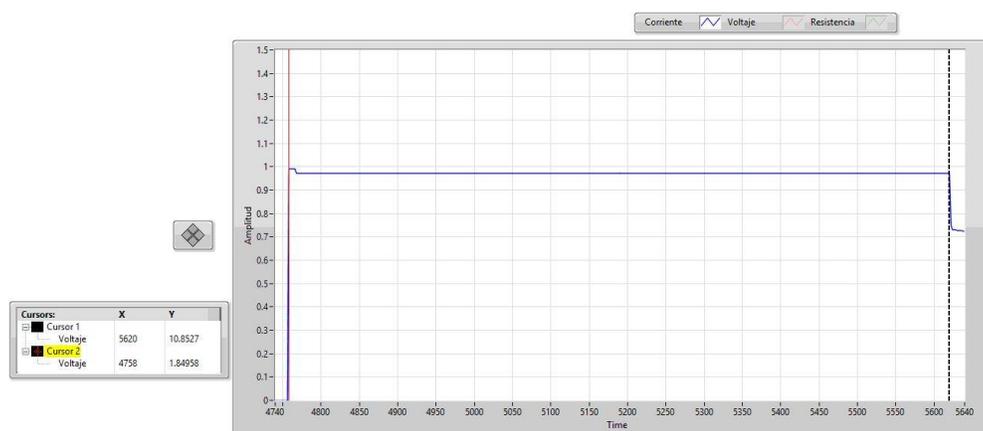


Figura 77. Corriente segunda carga, tercer ensayo.

b. Segunda descarga

En la curva se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de la segunda descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 50,1 minutos se nota una disminución de 1,35 minutos con respecto a la primera descarga.

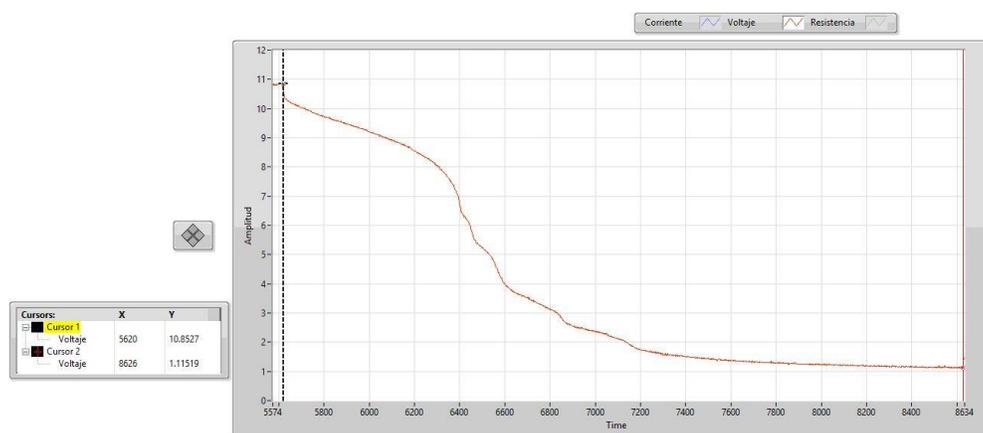


Figura 78. Voltaje segunda descarga, tercer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la intensidad de descarga del segundo proceso a lo largo del tiempo, durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 50,1 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

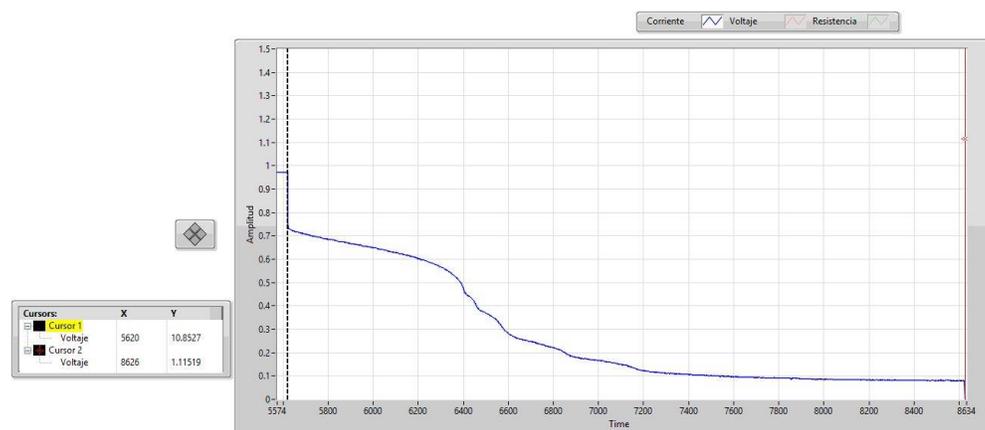


Figura 79. Corriente segunda descarga, tercer ensayo.

4.5.3 Tercer ciclo

a. Tercera carga

En la curva podemos apreciar el voltaje en función de tiempo del proceso de la tercera carga en tres etapas de un pack de la batería del Toyota Highlander, parte desde los 1,87 V hasta alcanzar 10,8 V en un tiempo de 14,8 minutos.

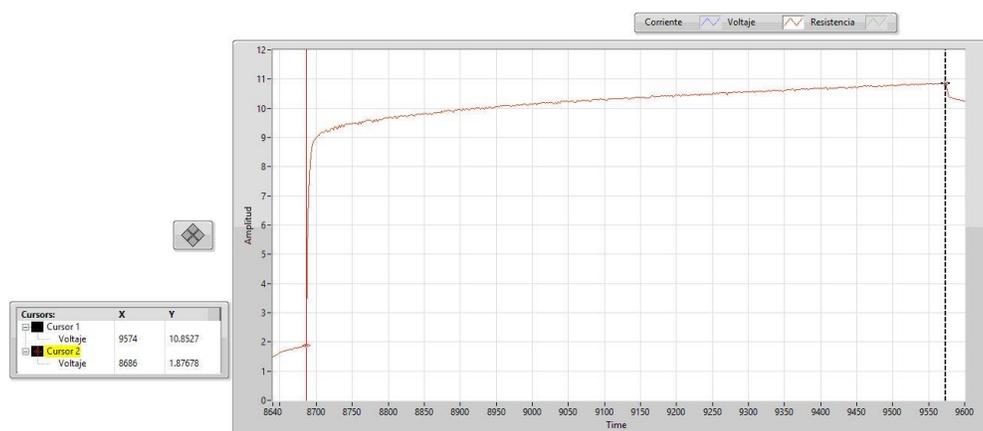


Figura 80. Voltaje tercera carga, tercer ensayo.

La curva muestra el comportamiento de la corriente a lo largo del tiempo en el proceso de carga, mostrando en la primera y segunda etapa una carga a 1 A constante hasta alcanzar el 120 % de la capacidad nominal de la batería, seguido de eso una carga donde la batería recibe 1 A constante durante 4 minutos.

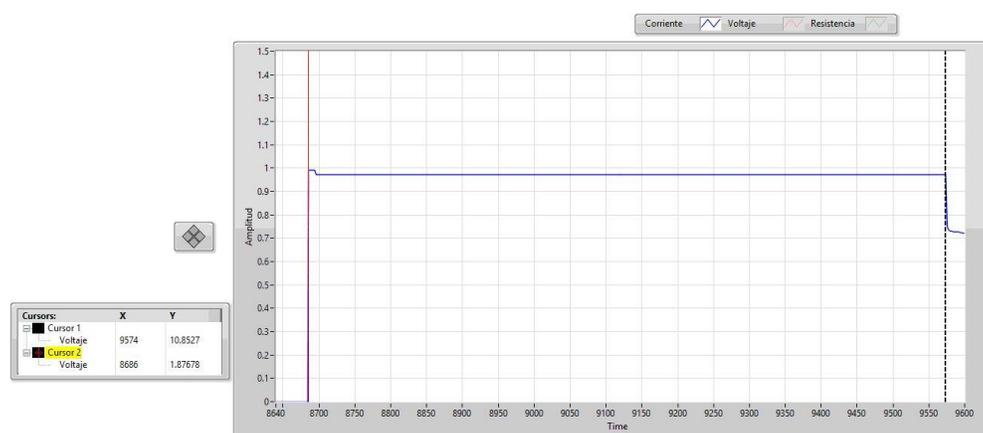


Figura 81. Corriente tercera carga, tercer ensayo.

b. Tercera descarga

En la figura 82 se observa el voltaje en función de tiempo del proceso de la tercera descarga de un pack de la batería del Toyota Highlander sometido a una carga en 3 etapas, parte desde los 10,8 V hasta llegar a 1 V en un tiempo de 51,7 minutos, se puede observar un incremento 0.34 minutos con respecto a la primera descarga.

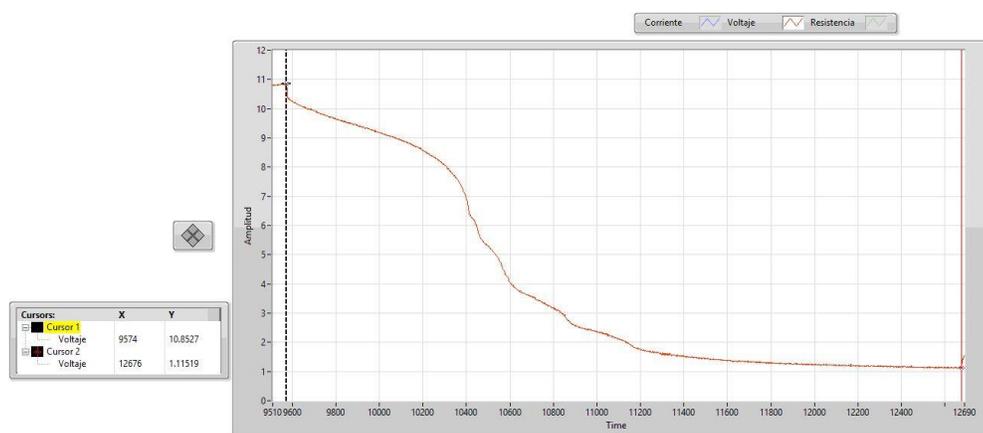


Figura 82. Voltaje tercera descarga, tercer ensayo.

En la curva podemos observar el comportamiento de la corriente de descarga del tercer proceso a lo largo del tiempo, durante el proceso de la primera descarga, partiendo desde una corriente de descarga máxima de 0,73 A hasta llegar a 70 mA en un tiempo de 84 minutos, siendo la descarga a corriente variable.

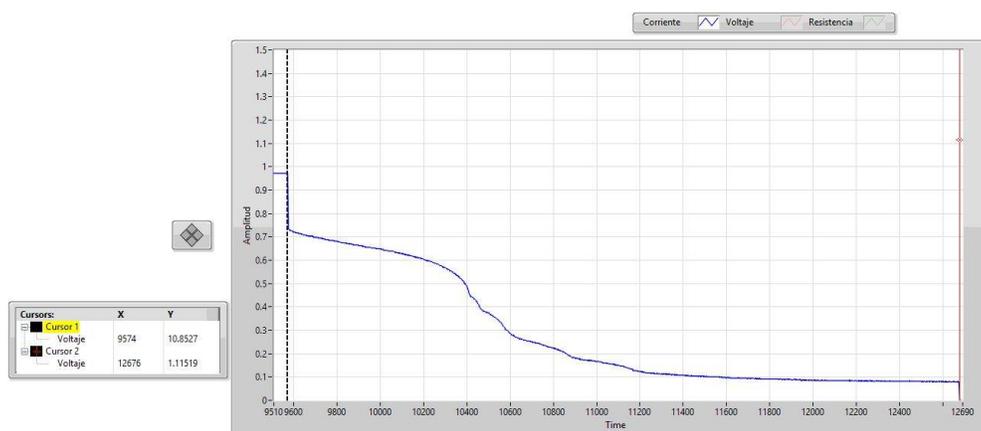


Figura 83. Corriente tercera descarga, tercer ensayo

4.6 Análisis de resultados

Tabla 13

Resumen de valores primer ensayo.

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	7,15	10,8	31,43	10,8	1	52,6
2	3,61	10,8	35,46	10,8	1	50,3
3	3,75	10,8	35,86	10,8	1	52

Para el primer ensayo, se observa un aumento en el tiempo de carga, y una disminución en el tiempo de descarga entre ciclos, siendo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de carga de: 4,43 minutos. Para valores de tiempo en la descarga se obtuvo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de: 0,6 minutos siendo la última con menor duración, estos resultados nos muestran que los parámetros de carga utilizados en este ensayo no recuperan la batería haciéndola menos eficiente en un

valor de: 1,14 % de tiempos de descarga y un valor de: 14,09 % al momento de su carga.

Tabla 14.
Resumen de valores segundo ensayo.

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	7,12	10,8	107,35	10,8	1	78,05
2	7,18	10,8	102,26	10,8	1	85,06
3	7,20	10,8	83,86	10,8	1	84

Para el segundo ensayo, se observa una disminución en el tiempo de carga, y un incremento en el tiempo de descarga entre ciclos, siendo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de carga de: 23.49 minutos, esto se debe a la disminución del efecto memoria y a la vez de una “recuperación” del material de la misma, disipando menos potencia en su resistencia interna y permitiendo que la batería acepte la carga de mejor forma, además de que con valores de tiempo menores en un circuito en donde circula corriente, se traduce en menor temperatura. Para valores de tiempo en la descarga se obtuvo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de: 5.95 minutos siendo la última con mayor duración, esto se debe también a que la batería acepta de una mejor forma la carga realizada, permitiéndola absorber más energía que, al momento de descargarla, disipa mayor cantidad de energía sobre el consumidor, que sobre ella misma haciendo de esta una batería más eficiente en un valor de: 7.62% de tiempos de descarga y un valor de: 21.88% al momento de su carga.

Tabla 15.
Resumen de valores tercer ensayo.

Ciclos	Carga			Descarga		
	V_i (v)	V_f (v)	t(m)	V_i (v)	V_f (v)	T (m)
1	1,93	10,8	14	10,8	1	51,36
2	1,84	10,8	14,36	10,8	1	50,1
3	1,87	10,8	14,8	10,8	1	51,7

Para el tercer ensayo, se observa un aumento en el tiempo de carga, y un aumento en el tiempo de descarga entre ciclos, siendo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de carga de: 0,8 minutos. Para valores de tiempo en la descarga se obtuvo una diferencia entre el primer y el tercer ciclo de: 0,34 minutos siendo la última con mayor duración, estos resultados nos muestran que los parámetros de carga utilizados en este ensayo no recuperan la batería muy notoriamente haciéndola menos eficiente en la carga un valor de: 5,71 %, y un aumento en su eficiencia en un valor de: 0,66 % en el tiempo de descarga.

4.7 Comparativa

Tabla 16.
Comparativo parámetros tres ensayos.

	Eficiencia (ensayo1)	Eficiencia (ensayo2)	Eficiencia (ensayo3)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo1)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo2)	tiempo consumido en el último ciclo (ensayo3)
Carga	- 14.09%	21,88%	-5,71%	35,86minutos	83.86 minutos	14,8 minutos
Descarga	-1,14%	7.62 %	0,66%	52 minutos	84 minutos	51,7 minutos

En la tabla se observa los valores más importantes de los 3 ensayos, las eficiencias con signo negativo muestran, en el caso de la carga, un aumento en el porcentaje señalado en el tiempo de carga, en el caso de la descarga las eficiencias con signo negativo muestran una disminución del tiempo de descarga.

Los parámetros de carga de cada ensayo son determinantes para el tiempo consumido en realizar los ciclos de mantenimiento estipulados, siendo la corriente de carga inversamente proporcional al tiempo empleado para cargar una batería, sin embargo, como se ha visto en los ensayos anteriores, la corriente ya sea de un valor alto o bajo, 2 amperios y 0.5 amperios respectivamente, suministrada a una batería en las dos primeras etapas del algoritmo de carga afecta exclusivamente al tiempo empleado en cargar la misma, sin afectar incrementos en el tiempo de descarga. Sin embargo, se pudo apreciar que la etapa 3 llamada de “absorción” afecta proporcionalmente al tiempo empleado en descargar la batería, que para el primer ensayo fue limitada por tiempo, para el segundo ensayo limitada por la corriente de carga hasta que esta sea cero, y la tercera utilizando una carga constante limitada por tiempo.

Siendo la etapa de absorción del ensayo 2 la que consume más tiempo en cargar una batería, que de ciclo a ciclo va disminuyendo, debido a la recuperación del estado de salud de la batería, siendo evidente este último aspecto en un incremento de tiempo de descarga.

Para el mantenimiento de baterías, los parámetros recomendados que proporcionan un incremento en el tiempo de descarga y por consiguiente un incremento de vida útil dado por la recuperación de su capacidad de almacenar energía, son los utilizados en el ensayo 2, pudiendo variar la corriente de carga de las dos primeras etapas del algoritmo y dejando que en la etapa de absorción sea limitada por la corriente cuando tienda a cero.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5 Recursos

Para realizar la presente investigación de manera organizada y que el proyecto sea factible, se detalla a continuación el análisis y optimización de los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

5.1 Recursos humanos

El recurso humano que intervendrá en la ejecución de la investigación es el siguiente:

Tabla 17.
Recursos humanos

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1.	Azael Moyano	1	Investigador
2.	Daniel Pantoja	1	Investigador
3.	Ing. Germán Erazo	1	Colaborador Científico
4.	Ing. José Quiroz	1	Colaborador Científico

5.2 Recursos materiales

Para el desarrollo de la investigación es necesario elementos y componentes que se presentan a continuación:

Tabla 18.
Recursos materiales

Orden	Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total	Características
1	10	Módulos relé	\$ 8	\$ 80	8 relés de contactos simples, 8 señales de activación y alimentación de 5 V
2	1	Baquelita	\$ 1,80	\$ 1,80	Fibra de vidrio de capa simple de cobre
3	1	Arduino Nano	\$ 10	\$ 10	Microcontrolador de 5V de funcionamiento
4	16	Borneras	\$ 0,39	\$ 6,24	Tipo de conector eléctrico de máximo 10 amperios
5	2	Brocas 0,8 mm	\$ 0,50	\$ 1,00	De cobalto para uso en metal
6	2	Cable flexible	\$ 25	\$ 50	100 metros AWG 14
7	2	Cable eléctrico	\$ 0,25	\$ 0,50	AWG 18 para señales de control
8	2	Fuente	\$ 20	\$ 40	Fuente AC-DC de 700 Watts
9	80	Cable protoboard	\$ 0,11	\$ 8,80	AWG 20 para señales de control
10	16	Cables Banana-Lagarto	\$ 1,00	\$ 16,00	AWG 14, 50 cm c/u
11	2	Cajas de aluminio	\$ 30,00	\$ 60,00	Disipadores de calor
12	16	Condensadores	\$ 0,50	\$ 8	2000 pF a 50V
13	1	Diodo 2N3055	\$ 1,90	\$ 1,90	Semiconductor de 10 amperios
14	16	Fuente DC-DC	\$ 4	\$ 64	Modulador de voltaje PWM a 12 V de máximo 5 amperios de consumo
15	4	Espadín	\$ 0,50	\$ 2,00	Cables de 15 cm para señales de control
16	1	Estaño	\$ 5,00	\$ 5,00	Cable de 1m para soldaduras eléctricas
17	16	74HC595	\$ 0,50	\$ 8	Registros de desplazamiento de 8 bits y 5V de alimentación
18	8	Impresión Placas	\$ 10,00	\$ 80,00	10 cm*15 cm
19	1	Impresión Placas	\$ 15,00	\$ 15,00	15cm*15cm

CONTINÚA 

20	38	Cinta plástica	\$ 0,29	\$ 11,02	Elementos de sujeción 15 cm
21	5	Tubería metálica	\$ 12,00	\$ 24,00	Denominación A-36, tubería cuadrada de 3cm
22	1	Madera	\$ 88,00	\$ 88,00	9 mm de espesor, fórmica
23	1	Material eléctrico	\$ 10,60	\$ 10,60	Barras de cobre, conectores rápidos
24	1	Material electrónico	\$ 7,20	\$ 7,20	Resistencias, condensadores y transistores del circuito de periferia
25	15	Pernos	\$ 0,10	\$ 1,50	Autoroscantes de 10 mm
26	1	Picaporte	\$ 0,50	\$ 0,50	Seguro de puertas de 15 mm
27	92	Resistencias	\$ 0,03	\$ 2,76	Impedancia variada y 10% de tolerancia
28	8	Resistencias de potencia	\$ 9,73	\$ 77,84	Impedancia de 10 Ohm a 20w y 4 Ohm a 20 W
29	32	Terminales de riel	\$ 0,05	\$ 1,60	Terminal de conexión para cables AWG 14
30	38	Terminales en y	\$ 0,06	\$ 2,28	Para cables AWG 14
31	3	Termo encogible	\$ 0,30	\$ 0,90	Aislante para cables AWG 14
32	8	Ventilador	\$ 3,20	\$ 25,60	De 10 mm de radio, 12V de funcionamiento y 0.5 A de consumo.
Total				712.04	

5.3 Recursos tecnológicos

Para la realización de la investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:

Tabla 19.
Recursos Tecnológicos

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Computador personal	1	500
2.	Osciloscopio	1	400

CONTINÚA 

3.	Multímetro	1	250
TOTAL			\$ 1150

5.4 Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto titulado “**INVESTIGACIÓN DE PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS AL APLICAR UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CONTROLADO PARA UN DIAGNÓSTICO EFICIENTE**” se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 20.
Costo neto del proyecto.

Ord.	Detalle	Cantidad	Costo
1.	Recursos materiales	1	712.04
2.	Recursos tecnológicos	1	1150
3.	Movilidad	1	200
TOTAL			\$ 2062,04

CONCLUSIONES:

- Se Investigó y valoró fuentes bibliográficas confiables, tales como tesis previas para sistemas de mantenimiento controlado de baterías de alta tensión, bases digitales para desarrollar la presente investigación.
- Se determinó parámetros de funcionamiento de baterías de alta tensión de las principales marcas de vehículos híbridos y eléctricos en el Ecuador.
- Se determinó parámetros característicos de las baterías tales como sistemas de carga/ descarga, estado de salud.
- Se seleccionó elementos electrónicos para la construcción del equipo de diagnóstico y monitoreo.
- Se diseñó y construyó la interfaz y el equipo de diagnóstico y monitoreo controlado de baterías de alta tensión.
- Se monitoreo baterías de alta tensión mediante la toma de medidas en tiempo real cada 2 segundos.
- Se utilizó diferentes parámetros de carga y el punto más próximo a la descarga completa (1 V) para aumentar el tiempo de descarga de la batería y así mejorar su capacidad de almacenar energía en un 7.62%.
- Se determinó que, del algoritmo de 3 etapas, la etapa que incide directamente sobre el incremento del tiempo de descarga de una batería es la etapa de absorción.

- Acorde a los ensayos realizados, la etapa de absorción del algoritmo de carga empleado, es la que tiene más incidencia sobre incremento del tiempo de descarga de ciclo a ciclo, durante el proceso de mantenimiento.
- Las cargas a corriente constante de valores superiores a 1 amperio e inferiores a 2,5 amperios, son recomendables para realizar cargas completas a baterías, disminuyendo el tiempo empleado en el proceso.
- Cuando el voltaje se mantiene constante, mientras la batería se va cargando, la corriente tiende a disminuir hasta valores próximos a cero, siendo esto un indicativo de que la etapa de carga del algoritmo utilizado a voltaje constante garantiza una carga completa de la batería.

RECOMENDACIONES:

- En todo momento seguir las indicaciones estipuladas en el protocolo de pruebas, para evitar daño en el equipo.
- No sobrepasar la tasa de carga y descarga estipulada por cada fabricante de baterías.
- Nunca conecte la batería con polaridad inversa ya que esto daña el equipo.
- No someter a mantenimiento a baterías que presenten daños físicos como: hinchamiento, ruptura de su recubrimiento en general.
- Antes de utilizar el banco cerciórese de estar capacitado para hacerlo.

- No sobrepasar la corriente de carga mayor a 2.5 amperios ya que puede poner en riesgo la salud de la batería y la integridad del operario del banco.
- El porcentaje de descarga de una batería, para procesos de mantenimiento y recuperación de vida útil, debe ser lo más bajo posibles, aproximándose en valor (en voltaje) a 1 voltio, para garantizar una descarga completa.
- Utilizar una corriente de carga media- alta en las etapas 2 y 3 del algoritmo de carga para disminuir el tiempo empleado para realizar un mantenimiento completo de N ciclos.
- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar la descarga a intensidad constante.
- Incrementar el voltaje de carga a un valor de 24 voltios, permitiendo realizar ensayos de carga con parámetros de corriente y voltaje mayores, disminuyendo tiempos empleados en cada ciclo de carga y descarga.
- Realizar ensayos de mantenimiento con mayor número de ciclos de carga y descarga con la finalidad de obtener un valor máximo para la prolongación de la vida útil de una batería.

BIBLIOGRAFÍA:

- Arturo, S. C. (04 de Marzo de 2016). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 22 de Abril del 2019, de:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12408>
- Augeri, F. (2011). *Cise Electronics*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de
<http://www.cise.com/portal/>
- Augeri, F. (2015). *CISE Electronics*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de CISE Electronics:
<http://www.cise.com>
- Augeri, F., & López Guzmán, D. (2013). *Mantenimiento y reparación de baterías híbridas*.
Recuperado el 13 de mayo del 2019, de:
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8294>
- Augeri, F., & López, D. (2013). *Repositorio Institucional de las Fuerzas Armadas ESPE*.
Recuperado el 15 de Abril de 2019, de
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8294>
- Ávila Meza , M. A. (octubre de 2014). *Repositorio Espe*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9105>
- Barros, A. V. (2015). *"Estudio y análisis de la operación del inversor del vehículo híbrido Toyota Prius A"*. Guayaquil: UIDE.
- Bradley, T., & Frank, A. (30 de Mayo de 2007). *Science Direct*. Recuperado el 15 de Abril de
2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107001074>
- Brotons, M. M. (14 de JUNIO de 2010). *UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA*.
Recuperado el 15 de Abril del 2019,de:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11337/PFC1.pdf?sequence=1>

- Carpio, G. (2013). *Repositorio institucional*. Recuperado el 22 de mayo del 2019, de:
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2210>
- Chan, C. (2007). *IEEE*, 95(4), 704-718. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de
<https://www.eee.hku.hk/doc/ccchan/TheStateoftheArtofElectric,Hybrid,andFuelCellVehicles.pdf>
- Electromotive. (2008). *Electromotive Engine Controls*. Recuperado el 15 abril de 2017, de
<http://www.electromotive-inc.com/>
- Espinoza Delgado, L. (2013). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6133>
- Germánico, C. R. (Abril de 2011). *Repositorio Digital ESPE*. Obtenido de
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4465>
- Guangaje, Murillo & Erazo . (2016). *INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE INYECCIÓN MPFI-CRDI*. Latacunga.
- Haghighatkah, A. B. (2017). Automotive software engineering: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 25-55.
- Haltech. (2012). *Haltech Engine Management Systems*. Recuperado el 15 de Abril del 2019, de
Haltech Engine Management Systems: <http://www.haltech.com/>
- Hegazy, O., El Baghdad, M., Van Mierlo, J., Lataire, P., & Coosemans, T. (29 de Septiembre de 2014). *IEEE Xplore digital library*. Obtenido de
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6911033/citations#citations>

- Izaguirre, A. Z., & Cuéllar, A. A. (2008). Clasificación de las Memorias . En A. Z. Izaguirre, & A. A. Cuéllar, *Sistemas de procesamiento digital* (págs. 76-79). Madrid: Delta Publicaciones.
- Jiménez Cañizares, M. (2018). *Depósito de investigación Universidad de sevilla*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/82048>
- kreuzer, F. M., & Wilmsmeir, G. (2014). *Repositorio Cepal*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36798/1/S1420695_es.pdf
- Kruse, T. K. (2010). Modern statistical modeling and evolutionary optimization methods for the broad use in ecu calibration. *IFAC*, 739-743.
- Megasquirt. (2012). *Engine Management Systems*. Recuperado el 15 de Abril del 2019, de [:http://www.msextra.com/](http://www.msextra.com/)
- Motec. (2010). *MoTeC Pty Ltd*. Recuperado el 22 de Mayo del 2019 de: MoTeC Pty Ltd: <http://www.motec.com.au/>
- Racz, A. A., Mountean, I., & Dan Stan, S. (2015). *ScienceDirect*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de <https://pdf.sciencedirectassets.com/282073/1-s2.0-S2212017315X00028/1-s2.0-S2212017315000638/main.pdf?X-Amz-Security-Token=AgoJb3JpZ2luX2VjEBlacXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIASCgEDeBul1AOvlfh5V0BjzitOpAYNfg4bsplQD6PG8AiEA9JBqgIF%2FHI8OG7zdWwMMkcVjQRkLdO4U6M%2Fo%2B4>
- Rajasekhar, M., & Gorre, P. (2015). High voltage battery pack design for hybrid electric vehicles. *IEEE*, 1-7.
- Ruíz García, M. (2015). *Pasado, presente y futuro de vehiculos electricos*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/71398996.pdf>

- Santamarta, J. (2009). *Técnica Industrial*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/63/39/a39.pdf>
- Skala, F. (2008). Programación J2534. En P. J2534. Buenos Aires.
- Telegrafo, E. (febrero de 21 de 2015). *El Telegrafo*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/menos-costos-y-visitas-al-mecanico-las-ventajas-de-los-autos-electricos-infografia>:
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/menos-costos-y-visitas-al-mecanico-las-ventajas-de-los-autos-electricos-infografia>
- Tocci, R. &. (2003). ROMs Programables. En &. N. R. Tocci, *SISTEMAS DIGITALES* (págs. 680-685). México D.F: PEARSON EDUCACIÓN.
- Tocci, R. &. (2003). SISTEMAS DIGITALES. En R. &. Tocci, *Memorias* (págs. 665-666). México DF: PEARSON EDUCACIÓN.
- Tokheim, R. (2002). ELECTRÓNICA DIGITAL. En R. Tokheim, *memoria RAM* (págs. 115-116). Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ, S.A.
- Toyoimport. (2015). *Toyoimport*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de <https://www.toyoimport.com/costo-reemplazar-una-bateria-hibrida/>:
<https://www.toyoimport.com/costo-reemplazar-una-bateria-hibrida/>
- Universo, E. (30 de junio de 2017). *El Universo*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de <https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/30/nota/6255403/tres-marcas-lideran-ventas-hibridos>
- Viera Pérez, J. C. (Abril de 2003). *Repositorio institucional universidad de Oviedo*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de <http://hdl.handle.net/10651/16249>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores MOYANO PÉREZ AZAEL GUALBERTO Y PANTOJA VILLACIS DANIEL ALEJANDRO.

En la ciudad de Latacunga a los 12 del mes de julio del 2019.

Aprobado por:

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE LA CARRERA

Dr. Darwin Albán Yáñez

SECRETARIO ACADÉMICO